

S U U N T A U K S E N S U U N N I T T E L U N O R M I E H D O T U K S E N P E R U S T E E T

G E O M E T R I N E N T O I M I K U N T A

T I E - J A V E S I R A K E N N U S H A L L I T U S

T V H 2.356

H E L S I N K I 15. 10 1971

18261
08/Va

VI D



SUUNTAUKSEN SUUNNITTELU

Normiehdotuksen perusteet

Geometrisen toimikunnan laatimaan tvl:n normaalimääräysten ja ohjeiden luonnokseen "Suuntauksen suunnittelu" liittyvät selvitykset ja perustelut.

JOHDANTO

Tämä moniste liittyy "Geometrisen toimikunnan" laatimaan 15.12.1970 päivättyyn "suuntauksen suunnittelu"-nimiseen normiluonnokseen, joka käsittelee yleisten teiden linjan, tasausviivan ja poikkileikkauksen suunnittelua.

Monisteen sisältö muodostuu luvuista A, B ja C.

Lukuun A on koottu selostukset normiluonnoksen laatimisen yhteydessä tehdyistä selvityksistä. Suurimman osan näistä selvityksistä on laatinut Geometrinen toimikunta, jonka sihteerinä ovat toimineet Insinööritoimisto Viatekin edustajat. Selvitystyöhön on osallistunut myös kaksi asiantuntijaa toimikunnan ulkopuolelta. Professori Sulevi Lyly on tvh:n toimeksiannosta laatinut näkemiä ja näkemäolosuhteita koskevan selvityksen. Tekn.tri O-P. Hartikainen on tvh:n toimeksiannosta tutkinut autojen kuljettajien silmäpisteen korkeuksia.

Luku B sisältää normiluonnoksen eri kohtien lyhyitä perusteluja siltä osalta kuin perustelut eivät käy selville varsinaisesta ohjeluonnoksesta.

Luvussa C on vertailtu eri maissa voimassa olevia tien suuntauksen suunnittelua koskevia ohjeita.

Toimikunta toivoo, että tässä monisteessa esitetyt selvitykset ja perusteet selventävät ohjeluonnoksen taustaa ja siten helpottavat asennoitumista ohjeluonnoksessa esitettyihin ehdotuksiin.

Helsingissä 15.10.1971

Geometrinen toimikunta

SISÄLLYSLUETTELO

A. NORMIEHDOTUKSEN LAATIMISEN YHTEYDESSÄ TEHTYJÄ SELVITYKSIÄ

- A1. Tien teknillisten ominaisuuksien ja mitoitusarvojen määräytyminen (Geometrinen toimikunta)
- A2. Tien geometrisen suunnittelun lähtökohtana olevista nopeuskäsitteistä (Geometrinen toimikunta)
- A3. Maaston luokitusperusteista (Geometrinen toimikunta)
- A4. Pysähtymismatka (Dipl.ins. O. Hintikka)
- A5. Henkilöauton kuljettajan silmäkorkeus (Tekn.tri. O-P. Hartikainen)
- A6. Näkemät tiensuunnittelussa (Prof. S. Lyly)
- A7. Näkemien määräämisperusteet (Geometrinen toimikunta)
- A8. Nopeudet kaarteissa (Dipl.ins. O. Hintikka ja Dipl.ins. T. Miikkulainen)
- A9. Nousukaista (Geometrinen toimikunta)
- A10. Ajouradan levennys kaarteessa (Geometrinen toimikunta)
- A11. Sivu- ja viettokaltevuus (Geometrinen toimikunta)

B. NORMIEHDOTUKSEN PERUSTELUJA

C. ERI MAIDEN VERTAILU

A 1. TIEN TEKNILLISTEN OMINAISUUKSIEN JA MITOITUSARVOJEN MÄÄRÄYTYMINEN

GEOMETRINEN TOIMIKUNTA

1.0	YLEISTÄ	1
1.1	TIEN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	1
1.11	Liikenne	1
1.12	Tien toiminnallinen luokka	2
1.13	Paikalliset olosuhteet	6
1.14	Toteuttamista koskevat tiedot	6
1.2	TIEN SUUNNITTELUN TAVOITTEET	6
1.21	Taloudellisuus	6
1.22	Turvallisuus	6
1.23	Miellyttävyyys	7
1.24	Eri tavoitteiden painotus	8
1.3	TIEN SUUNNITTELUN PERUSTEET	8
1.4	TIEN SUUNTAUKSEN MÄÄRÄYTYMINEN	9
1.41	Suuntauksen suunnittelun pääperiaatteet	9
1.42	Vaihtoehtojen vertailu	9

1. TIEN TEKNILLISTEN OMINAISUUKSIIEN JA MITOITUS- ARVOJEN MÄÄRÄYTYMINEN

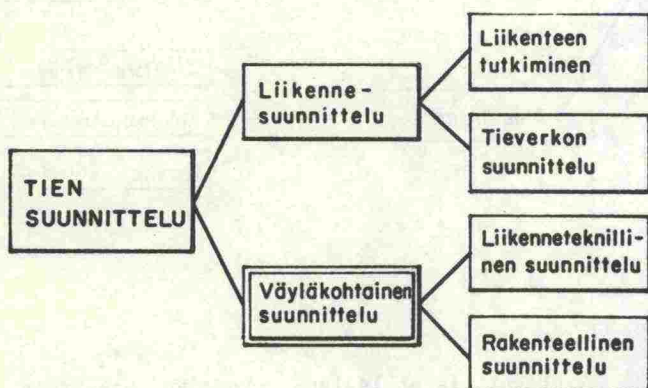
1.0 Yleistä

Tien suunnittelu voidaan jaoitella toiminnalliseen suunnitteluun ja tiekohtaiseen suunnitteluun.

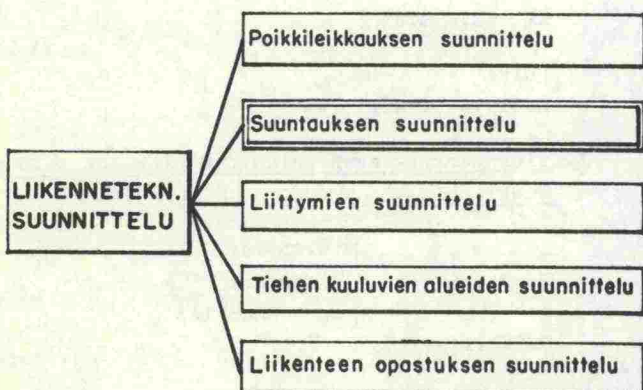
Toiminnallisella suunnittelulla tarkoitetaan teiden tarpeellisuuden selvittämistä ja tieverkon suunnittelua.

Tiekohtaisella suunnittelulla tarkoitetaan yksittäisen tien sijainnin, muodon ja rakenteen suunnittelua. Tien suuntauksen suunnittelu on eräs osa tiekohtaista suunnittelua (Kuvat 1 ja 2).

Tässä selvityksessä tarkastellaan niitä lähtökohtia, tavoitteita ja perusteita joilla on vaikutusta tien teknillisten ominaisuuksien ja mitoitusarvojen määräytymiseen tiekohtaisessa suunnittelussa.



Kuva 1.



Kuva 2.

1.1 Tien suunnittelun lähtökohdat

Tien suunnittelun yleisinä lähtökohtina voidaan tiekohtaisessa suunnittelussa pitää kuvissa 3. 6 esitettyjä suunnittelijan tarvitsemia lähtötietoja, jotka koskevat

- liikennettä
- tien toiminnallista luokkaa
- paikallisia olosuhteita
- toteuttamisajankohtaa ja rahoitusta

1.11 Liikenne

Liikennettä koskevat tiedot saadaan liikennetutkimusten sekä niiden pohjalla laadittujen ennusteiden perusteella. Tiekohtaisessa suunnittelussa tarvitaan seuraavia liikennettä koskevia tietoja (kuva 3):

- liikennemäärä
- liikenteen luonne
- liikenteen koostumus

Liikennemäärätiedot tarvitaan tien valmistus- ja mitoitusajankohdasta sekä em. ajankohtien väliseltä ajanjaksolta.

Tien poikkileikkauksen ja päällysrakenteen suunnittelussa on vuorokausiliikenne eräänä tärkeänä tekijänä. Tuntiliikennettä sekä tuntia lyhyemmän ajankohdan liikennettä tarvitaan lähinnä välityskylylaskelmissa.

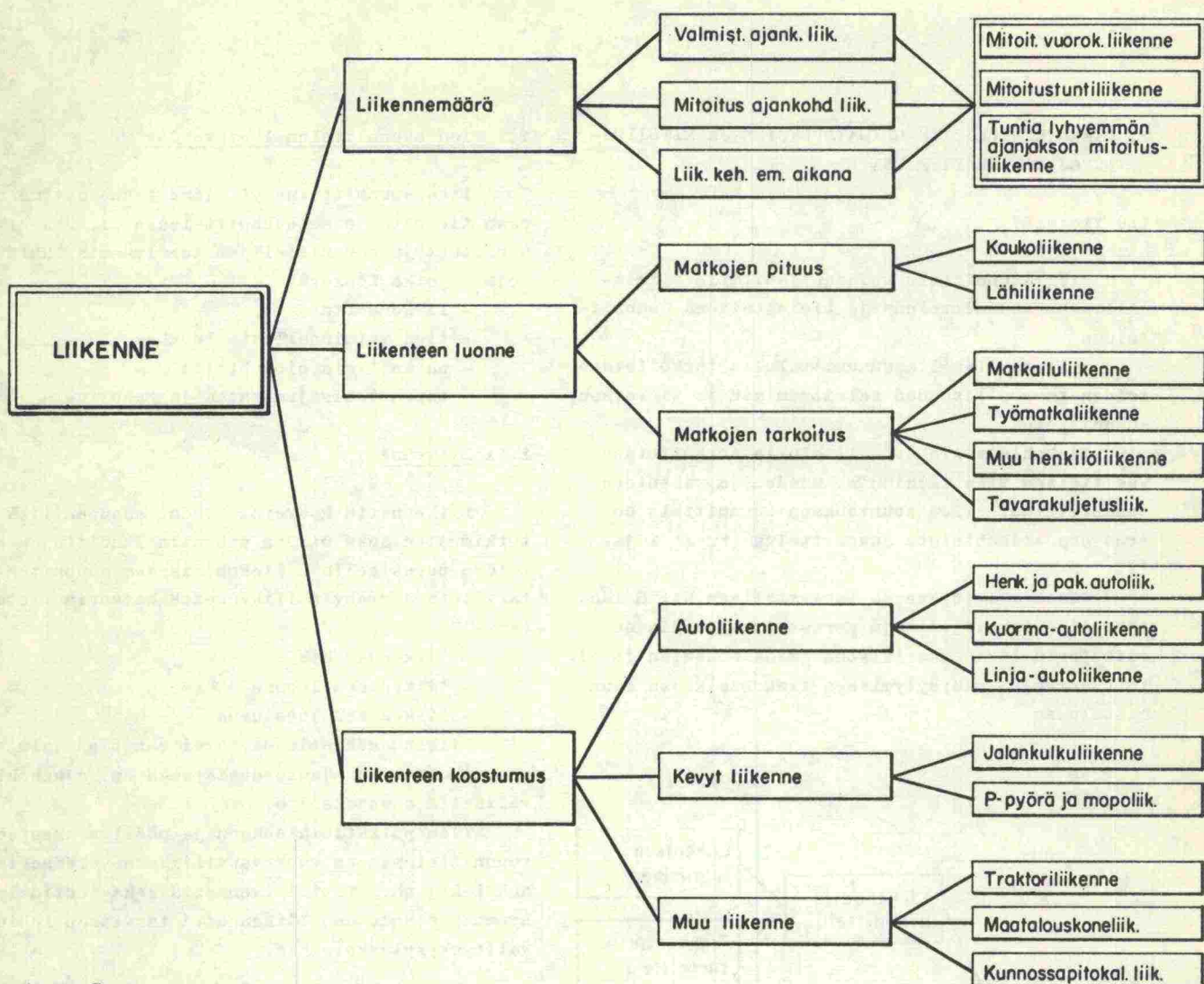
Liikenteen luonteella tarkoitetaan tässä yhteydessä liikenteelle tunnusomaisia piirteitä, jotka johtuvat joko ajomatkojen pituudesta tai matkojen tarkoituksesta.

Matkojen pituuden perusteella voidaan tietä luonnehtia joko kauko- tai lähiliikennettä palvelevaksi. Matkojen tarkoitusten perusteella voidaan todeta palveleeko tie erikoisesti matkailu-, työmatka- tai muunlaista henkilöliikennettä taikka tavaraliikennettä.

Liikenteen luonne otetaan lähtökohtana huomioon lähinnä tien liikenneteknillisessä suunnittelussa.

Liikenteen koostumusta koskevat tiedot ovat lähtökohtana mm. taloudellisissa laskelmissa sekä poikkileikkausten, siltojen ja alikulkukäytävien suunnittelussa. Koostumus on usein edullista ilmaista siten, että liikenneyksiköt jaoitellaan kolmeen pääryhmään autoliikenteeseen, kevyeseen liikenteeseen ja muuhun liikenteeseen.

Autoliikenteeseen luetaan kuuluvaksi henkilö-, paketti-, kuorma- ja linja-autot. Autoliikenteen jako em. ryhmiin on erityisen tärkeää etenkin liikenteenvälityskylylaskelmien ja päällysrakenteen mitoituksen kannalta.



Kuva 3

Kevyellä liikenteellä tässä yhteydessä tarkoitetaan jalankulku-, polkupyörä- ja mopediliikennettä. Kevyttä liikennettä koskevia tietoja tarvitaan erityisesti päätettäessä erillisten liikennekaistojen tarpeesta.

Muu liikenne on lähinnä traktori-, maatalouskone- ja tien kunnossapitokalustoliikennettä. Ko. ajoneuvoja koskevat tiedot on otettava huomioon esim. määrättäessä jalankulku- ja polkupyöräteiden vapaan aukon mittoja tai kantavuutta.

1.12 Tien toiminnallinen luokka

Maassamme on jo useita vuosia ollut yleisesti käytössä seuraavat teiden luokitukset:

1. Tienpitäjän mukainen luokittelu

Yleiset tiet

Yksityiset tiet

2. Teknilliseen laatuun perustuva luokittelu

Moottoritiet

I lk:n tiet

II lk:n tiet

III lk:n tiet

IV lk:n tiet

Polut

Erityiset talvitiet

3. Tien merkitykseen perustuva yleisten teiden luokittelu

Maantiet

Palkallistiet

{ valtatiet
kantatiet
muut maantiet

Mikään edellä esitetyistä luokituksista ei sovellu hyvin tien suunnittelua koskevien ohjeiden pohjaksi, ei varsinkaan kaupunkimaisten taajamien liikenneväylien osalta.

Paremmen lähtökohdan näille ohjeille tarjoaa teiden toiminnallinen luokitus, jossa tiet luokitellaan niiden toiminnallisen merkityksen perusteella. Tvh:n kirjeessä sisäasiainministeriön kaavoitus- ja rakennusasiainosastolle (kirje n:o T-4405/3.9.1970) asiasta esittämän kannanoton mukaisesti tiet voidaan jaotella niiden toiminnallisen merkityksen perusteella seuraavasti taulukon 1 mukaan.

Yleiset tiet ovat taajama-alueen ulkopuolella edellä esitetyn luokituksen mukaan pääteitä, kokoojateitä tai yhdysteitä. Päätienä voi olla lähinnä valta- tai kantatie. Kokoojatienä on yleensä muu maantie tai liikenteellisesti tärkeä paikallistie.

Yleinen tie voi taajama-alueella olla toiminnallisen luokituksen tarkoittamassa mielessä pääkatu tai kokoojakatu.

Yksityiset tiet voivat taajama-alueella kuulua mihin toiminnalliseen luokkaan tahansa riippuen asemastaan ja merkityksestään. Taajaman ulkopuolella yksityiset tiet ovat yleensä joko yhdysteitä tai edellä esitettyihin toiminnallisiin luokkiin kuulumattomia kiinteistöteitä.

Tien toiminnallisen luokan perusteella määntyvät eräät tien teknilliset vähimmäisvaatimukset, (kuva 4) jotka koskevat

- tieolosuhteita
- liikenneolosuhteita ja
- liikenneympäristöä

Tieolosuhteita koskeviin vaatimuksiin kuuluu poikkileikkauksen liikenteellinen ja rakenteellinen luokka, suuntauksen suunnittelussa huomioon otettavat näkemävaatimukset, eräät mitoitussarvojen raja-arvot, liittymien välimatkoja ja perustyyppiä koskevat vaatimukset, liikenteen ohjauksessa sovellettava opastusjärjestelmä, teiden etuajo-oikeussuhde sekä tärkeimpien teiden osalta myös liikenteen palvelujärjestelmä, joka käsittää lähinnä motellit, huoltoasemat, levähdysalueet ja pysäköimisalueet.

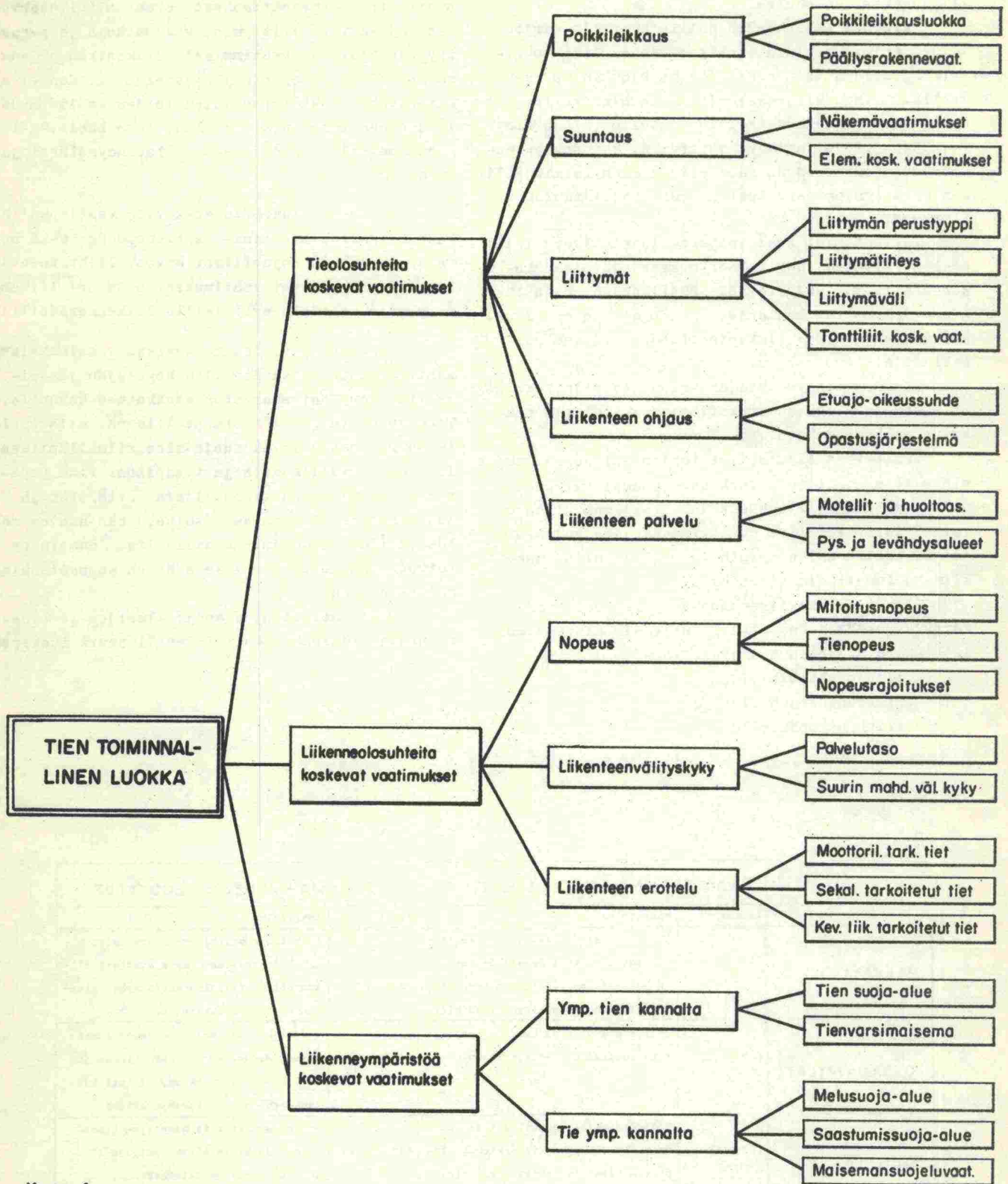
Liikenneolosuhteita koskeviin vaatimuksiin kuuluu lähinnä mitoitus- ja tienopeuden sekä nopeusrajoituksen ohjeelliset arvot, liikenteenvälityskykyä koskevat vaatimukset sekä eri liikenneryhmien erottelu erillisille liikenneraidoille.

Liikenneympäristöä koskevissa vaatimuksissa asettaudutaan toisaalta tien käyttäjän ja toisaalta tien lähiympäristön asukkaiden kannalle. Tien kannalta pidetään tarpeellisenä, että tiellä on riittävän leveä suoja-alue silmälläpitäen liikenneturvallisuutta ja tienpitoa. Tien ympäristön kannalta on tarpeellista, että tien ja asutuksen välillä on suoja-alue, joka suojaa melu- ja ilman saastumisen haitoilta. Samoin on toivottavaa, että tie itsessään on sopusoinnussa maiseman kanssa.

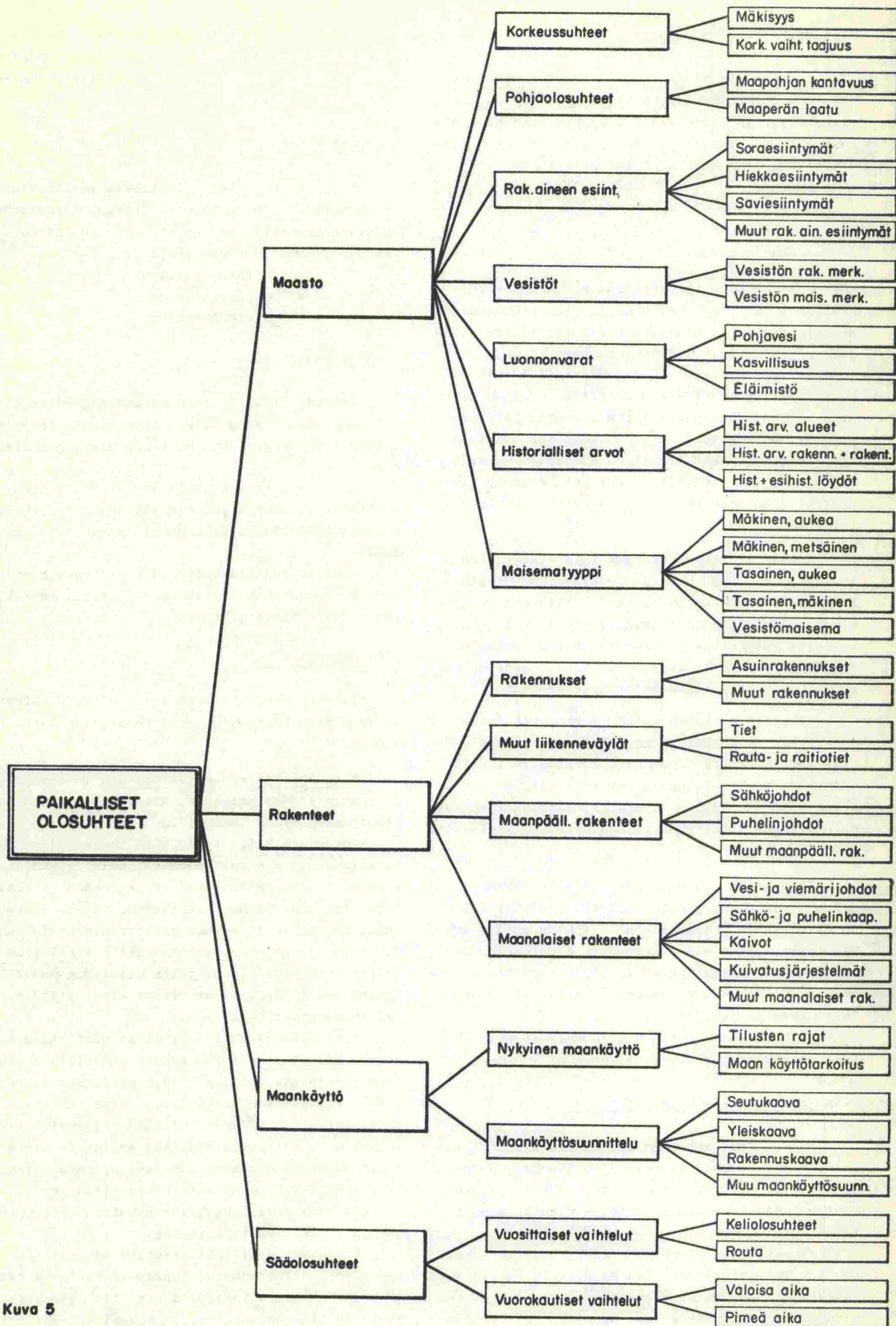
Edellä mainittujen suoja-alueiden leveydet riippuvat lähinnä tien toiminnallisesta luokasta.

Taulukko 1

	VALTAKUNNALLINEN LUOKITUS		TAAJAMA - ALUEEN LUOKITUS	
	Luokka	Määritelmä	Luokka	Määritelmä
PÄÄVÄYLÄT	Päätie	Yhdistää valtakunnan eri osien tärkeimmät keskuksat toisiinsa tai kansainvälisen liikenteen kannalta tärkeimpiin rajanylityspaikkoihin.	Pääkatu	Palvelee kaupunkiseudun eri osien välistä ja toisinaan myös sisäistä liikennettä. Palvelee usein myös valtakunnallista liikennettä.
KOKOOJAVÄYLÄT	Kokoojatie	Yhdistää kuntakeskukset ja taajamat toisiinsa sekä päätieverkkoon.	Kokoojakatu	Yhdistää tonttikadut ja usean rakennuksen muodostaman ryhmän sisänsuojaväylät pääkatuverkkoon. Toimii kaupunkiseudun osan kokoojaväylänä.
YHDYSVÄYLÄT	Yhdystie	Yhdistää haja-asutusalueet taajamiin tai ylempään tieverkkoon. Yhdistää tilat ja tontit ylemp. tieverkkoon.	Tonttikatu	Palvelee viereistä maapohjaa (tontteja) yhdistäen siltä syntyvän liikenteen ylempään katuverkkoon.



Kuva 4



Kuva 5

1.13 Paikalliset olosuhteet

Paikallisia olosuhteita koskevat tiedot saadaan maastotutkimusten, kartta-aineiston ja eri virastoilta ja laitoksilta saatavan aineiston perusteella. Paikallisia olosuhteita koskevat tiedot voidaan ryhmitellä seuraavasti (kuva 5):

- maasto
- rakenteet
- maankäyttö
- sääolosuhteet

Maastotiedot koskevat lähinnä maaston korkeussuhteita, pohjaolosuhteita, tien rakennusaineksi kelpaavien aineiden esiintymistä, vesistöjä, maisemaa, paikallisia luonnonvarjoja ja historiallisia muistomerkkejä. Maastotiedoilla on suuri merkitys sovitettaessa tietä maastoon siten, että rakennuskustannukset saadaan mahdollisimman pieniksi sekä että tien ja maaston sopusointu saavutetaan. Rakenteellisen suunnittelun kannalta on maastotiedoilla merkitystä esim. pohjanvahvistusmenetelmien ja päällysrakenteen suunnittelun kannalta.

Rakenteilla tarkoitetaan tässä yhteydessä lähinnä maastossa ennestään olevia rakennuksia, liikenneväyliä sekä muita maanpäällisiä ja -alaisia rakenteita, joista tavallisimmat ovat johdot, kaapelit sekä vesi- ja viemärijohdot. Rakenteet otetaan huomioon sovitettaessa tietä maastoon rakennuskustannuksiin vaikuttavina tekijöinä.

Nykyisellä maankäytöllä ja maankäyttösuunnitelmilla on vaikutuksensa tien suuntauksen valintaan. Nykyistä tilannetta kuvaavat tilusten rajoja ja kunkin tiluksen käyttötarkoitusta koskevat tiedot. Tulevaisuuden maankäyttöä koskevat suunnitelmat sisältävät yleensä seutu-, yleis- tai rakennuskaavaan.

Sää- ja valaistusolosuhteet ovat lähtökohtina sekä rakenteelliselle että liikenteelliselle suunnittelulle. Esimerkkinä tästä on mainittava päällysrakenteen mitoitus huomioon ottaen roudan vaikutuksen, lumikinosten korkeuden ottaminen huomioon näkemäalueen raivauksessa sekä liikennevalaistuksen järjestäminen.

On huomattava, että sää ja valaistusolosuhteet vaihtelevat eri osissa maata.

1.14 Toteuttamista koskevat tiedot

Tiedot tien rakentamisen ajankohdasta ja rajoituksesta saadaan tienpidon ohjelmasta, jossa on esitetty alustava toimenpiteen määrittely sekä tehty alustava kustannusarvio ja rahoitussuunnitelma.

Rakentamisen ajankohtaa koskevista tiedoista on tien valmistusvuodella merkitystä kustannuslaskelmien suorittamisessa ja rakentamisen kesto-aika otetaan suunnittelussa huomioon mm. ylipen-

kereiden rakentamisesta päätettäessä. Vaiheittain rakentamisen mahdollisuus otetaan huomioon esim. päällysteen, poikkileikkauksen ja liittymien suunnittelussa. (kuva 6).

1.2 Tien suunnittelun tavoitteet

Tien suunnittelun tavoitteena väyläkohtaisessa suunnittelussa on mahdollisimman tarkoituksenmukaisen tien sijainnin, muodon ja rakenteen löytäminen ottaen huomioon (kuva 7)

- taloudellisuus
- turvallisuus
- miellyttävyys

1.21 Taloudellisuus

Taloudellisuutta tarkasteltaessa tulee kiinnittää huomiota sekä liikennekustannuksiin että muihin tiestä yhteiskunnalle aiheutuviin kustannuksiin.

Liikennekustannuksilla tarkoitetaan tien tekemisestä ja määrättyä ajanjaksona tapahtuvista tiekuljetuksista yhteiskunnalle aiheutuvia kustannuksia.

Muut taloudellisuuden tarkastelussa huomioon otettavat kustannustekijät ovat lähinnä maan käytön rajoituksesta johtuvia.

1.22 Turvallisuus

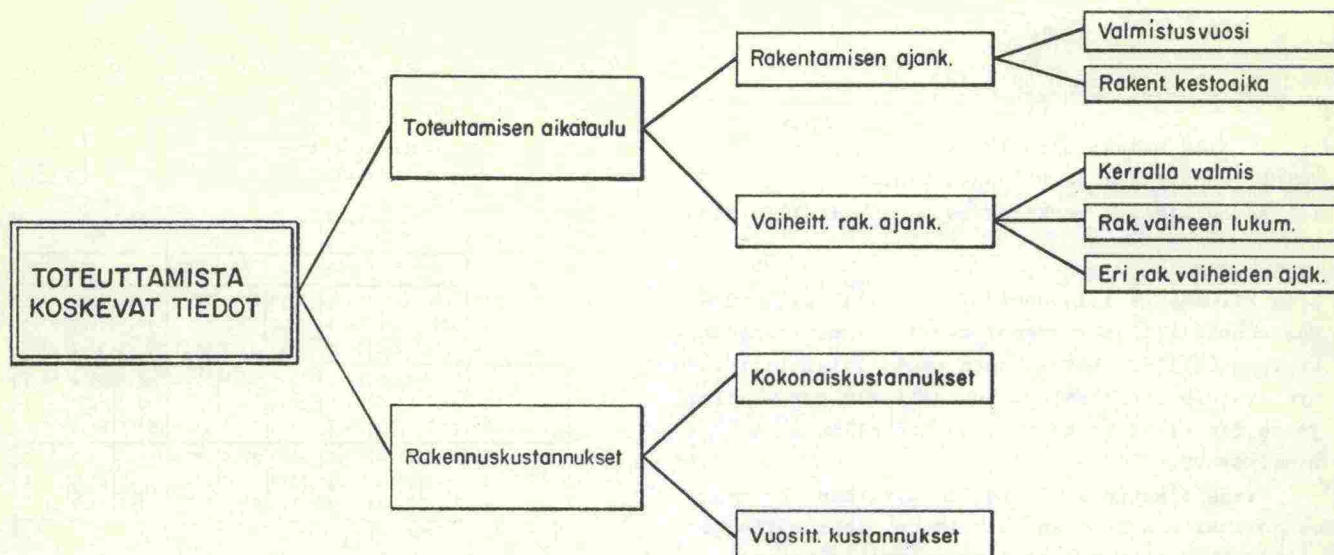
Turvallisuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä sekä tien käyttäjien että ympäristön turvallisuutta.

Tien käyttäjien turvallisuuden voidaan katsoa riippuvan ajodynamiisista, ajofysiologisista ja ajopsykologisista tekijöistä.

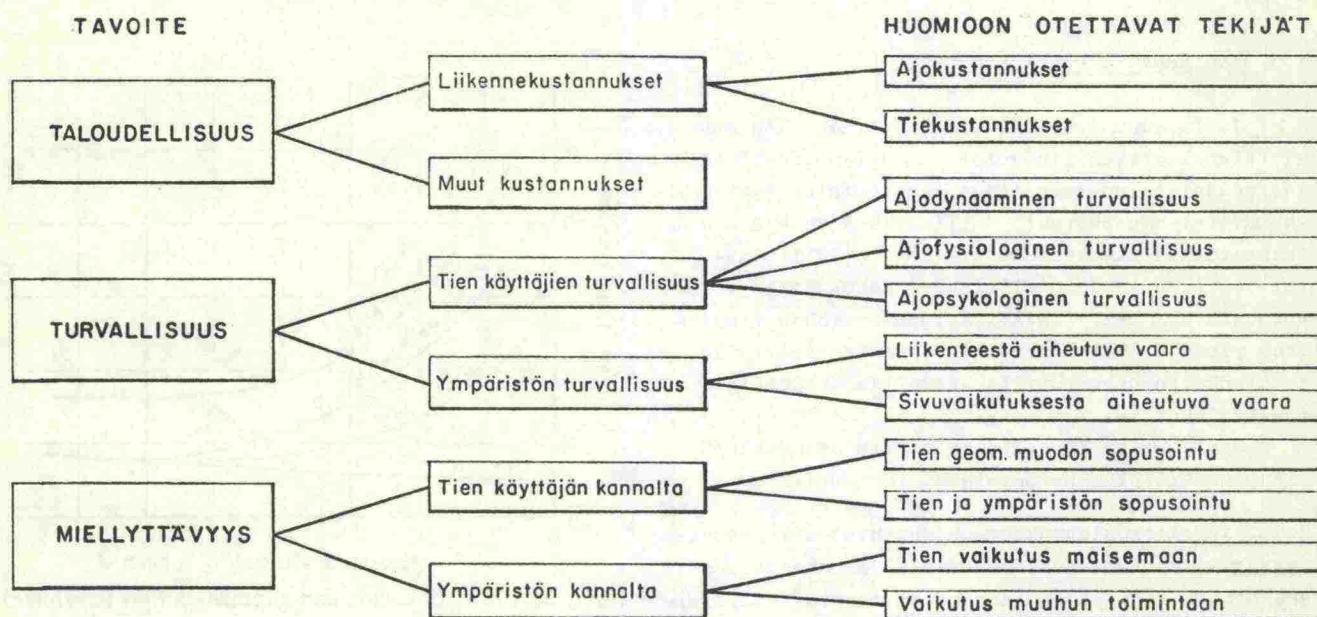
Ajodynamiisilla tekijöillä tarkoitetaan tiellä liikkuvaan ajoneuvoon vaikuttavia dynaamisia voimia, tielinjan kaarevuutta, ajoradan sivukaltevuutta, tien pinnan kitkakerrointa ym. ajoneuvon liikkeisiin ja niiden hallitsemiseen vaikuttavia tekijöitä. Ajodynamiisesti turvallisena pidetään sellaista tietä, jolla mitoitusnopeudella ajettaessa ajodynamiiset voimat eivät ylitä turvallisina pidettäviä arvoja.

Ajofysiologisiksi tekijöiksi nimitetään ajoneuvon kuljettajan fysiologisia mahdollisuuksia havaita ajoissa ajotilanteiden muutokset ja reagoida eri ajotilanteissa siten, että vaaratilanteen syntyminen voidaan välttää. Ajofysiologian kannalta turvallisena pidetään sellaista tietä, jolla on hyvät näkemäolosuhteet, optinen ohjaus, riittävän leveä ja ajoratamerkinöillä varustettu ajorata sekä erilliset liikennekaistat polkupyörä- ja jalankulkuliikenteelle.

Ajopsykologisilla tekijöillä tarkoitetaan ajoneuvon kuljettajan ajotapaan vaikuttavia tekijöitä. Tällaisia tekijöitä ovat tien geometrinen muoto ja liikenneympäristö. Suunnittelemalla tien



Kuva 6



Kuva 7. Tien suunnittelun tavoitteet

geometrinen muoto ja liikenneympäristö tarkoituksenmukaisella tavalla saadaan kuljettaja pysymään hyvässä ajovireessä ja siten välttämään ajon aikana tapahtuvia virheitä.

Ympäristön turvallisuus riippuu siitä, missä määrin ympäristölle aiheutuu vaaraa joko tiellä liikkuvista ajoneuvoista tai liikenteestä aiheutuvista sivuvaikutuksista, joita ovat lähinnä melu ja ilman saastuminen.

Ympäristön turvallisuuden kannalta on suotavaa, että varsinkin suurta liikennettä palvelevat liikenneväylät sijoitetaan riittävän kauaksi asutuksesta ja risteämiset muiden tärkeiden liikenneväylien kanssa järjestetään eri tasoon.

1.23 Miellyttävyys

Miellyttävyydellä tarkoitetaan tien miellyttävyyttä tien käyttäjän sekä ympäristön kannalta.

Tien käyttäjä kokee tien miellyttävänä silloin, kun tie on helppo ajaa ja sen geometrinen muoto on sopusointuinen ja lisäksi tie ja maasto ovat sopusoinnussa keskenään.

Ympäristön kannalta tien miellyttävyys riippuu siitä, miten tie niveltyy paikallisiin olosuhteisiin mm. maisemaan ja missä määrin se rajoittaa muuta toimintaa.

1.24 Eri tavoitteiden painotus

Edellä mainittujen tavoitteiden painotus vaihtelee eri teillä riippuen lähinnä kunkin tien liikenteellisestä merkityksestä ja paikallisista olosuhteista.

Vilkaasti liikennöidyillä teillä liikennekustannuksilla on suurempi merkitys kuin rakennuskustannuksilla. Yhteiskunta on tällaisilla teillä myös valmis suuriinkin taloudellisiin uhrauksiin, jotta tie olisi ratkaisultaan turvallinen ja miellyttävä.

Vähäliikenteisillä teillä pyritään yleensä mahdollisimman halpaan ratkaisuun, joka kuitenkin riittävässä määrin täyttäisi turvallisuusvaatimukset.

Maisemallisesti arvokkaissa paikoissa ovat ympäristönsuojelunäkökohdat aina erityisen tärkeitä.

1.3 Tien suunnittelun perusteet

Jotta suunnittelija perehdyttyään tien suunnittelun lähtökohtiin voisi saavuttaa edellä mainitut suunnittelun tavoitteet, hänen tulee tuntea suunnittelun perusteet, joilla tässä yhteydessä tarkoitetaan tavoitteena olevien turvallisuus-, taloudellisuus- ja miellyttävyydenäkökohtien riippuvuutta eri tekijöistä. Riippuvuussuhde ilmaistaan yleensä kokemukspäisiin tai teoreettisiin tutkimuksiin perustuvilla kaavoilla, säännöillä tai taulukoilla.

Seuraavassa on esitetty eräitä esimerkkejä tien suunnittelun perusteista.

Esim. 1. Ajokustannukset muodostuvat aikakustannuksista, ajoneuvokustannuksista ja onnettomuuskustannuksista. Ajokustannusten suuruus määräytyy tieosalla riippuu lähinnä liikennemäärästä, liikenteen koostumuksesta, sekä tien poikkileikkauksesta, mäkisyydestä ja kaarteisuudesta. Käytännön suunnittelutyötä varten on käytettävissä ajokustannusten laskemista varten laaditut taulukot (kuva 8).


Esim. 2. Liikenneturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat ihminen, ajoneuvo, tie, sääolosuhteet ja liikennelainsäädäntö. Liikenneturvallisuuden riippuvuutta tieolosuhteista voidaan ilmaista onnettomuusasteluvulla, joka määrätään onnettomuustilastojen perusteella (esim. kuvat 9 ja 10).

Esim. 3. Tien liikenteenvälityskyky riippuu lähinnä tien poikkileikkauksesta, kaarteisuudesta, mäkisyydestä ja näkemäolosuhteista. Riippuvuussuhdetta on selvitetty eri tutkimuksissa. Tutkimusten tulosten perusteella on laadittu diagrammeja ja taulukoita käytännön suunnittelutyötä varten (kuvat 11 ja 12).

AJOKUSTANNUKSET p/km

moottoritiellä

kestopäällyste



T	V	K	1980			1985			1990		
			0	50	100	0	50	100	0	50	100
500	0	50.4	51.4	52.6	55.3	56.5	57.9	61.3	62.8	64.5	
	20	52.8	53.6	54.6	58.2	59.2	60.3	64.8	66.0	67.4	
	40	72.6	72.6	72.6	81.1	81.1	81.1	91.5	91.5	91.5	
1000	0	50.8	51.9	52.7	55.8	57.0	58.0	61.9	63.4	64.6	
	20	53.1	54.0	55.0	58.6	59.7	60.9	65.3	66.7	68.1	
	40	72.7	72.7	72.7	81.2	81.2	81.2	91.6	91.6	91.6	
1500	0	51.2	52.4	53.2	56.3	57.7	58.6	62.5	64.2	65.3	
	20	53.5	54.3	55.3	58.9	60.0	61.2	65.7	67.0	68.4	
	40	72.7	72.7	72.7	81.3	81.3	81.3	91.7	91.7	91.7	

Selitykset:

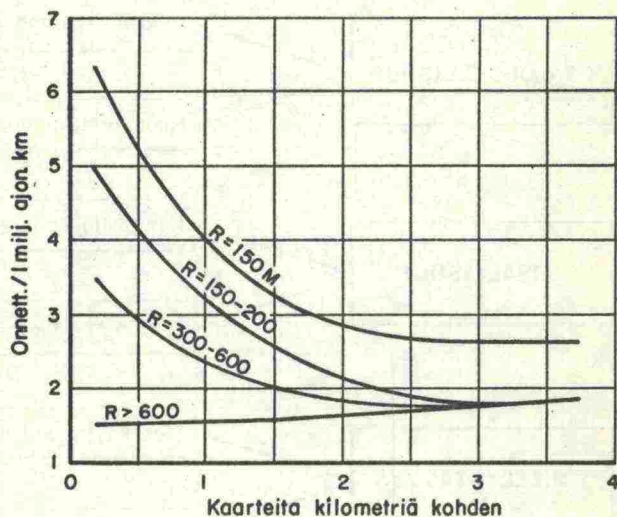
T = tuntiliikenne (hay) yhdessä suunnassa

m = mäkisyys

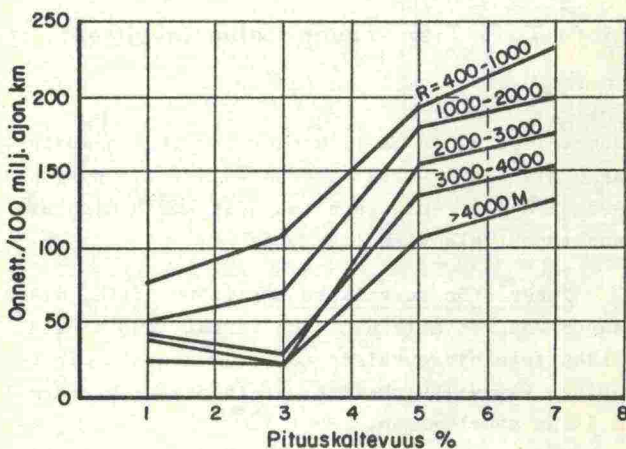
k = kaarteisuus

VI:2 B

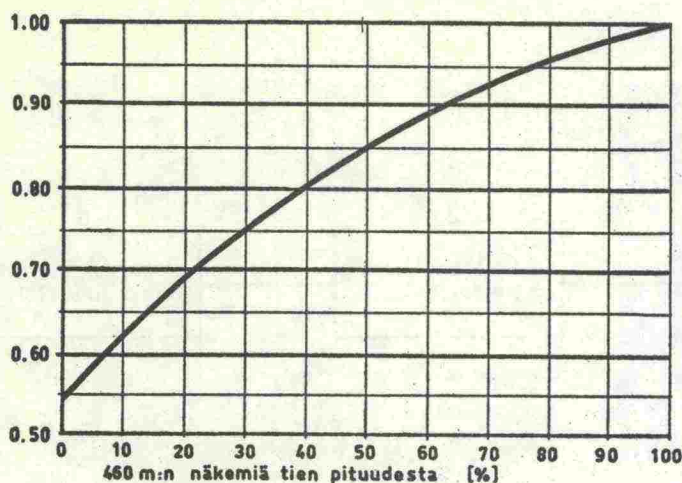
Kuva 8. Ajokustannuksien laskemista varten laadittu taulukko.



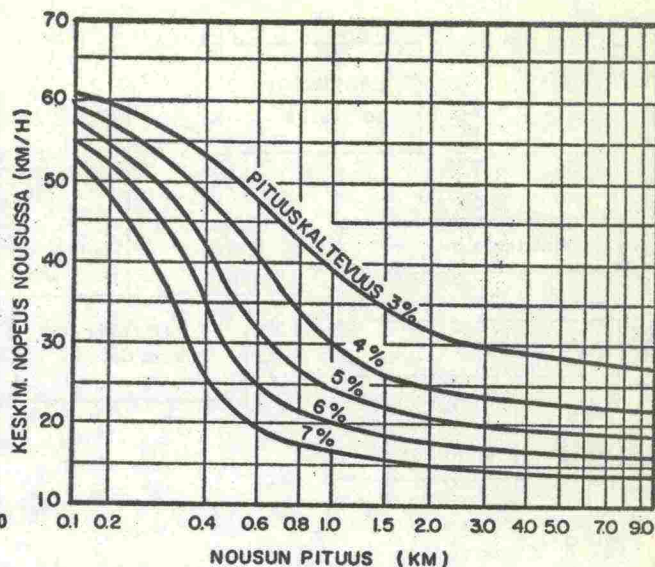
Kuva 9. Onnettomuusasteen riippuvuus tien kaarteista.



Kuva 10. Onnettomuusasteen riippuvuus tien pituuskaltevuudesta ja kaarresäteestä.



Kuva II. Näkemien vaikutus 2-ajokaistaisen tien liikenteenvälityskykyyn (Norm.määr. ja ohjeet)



Kuva I2. Tavallisten kuorma-autojen keskimääräinen nopeus kaksikaistaisen teiden nousu- ja laskeutumisalueilla (HCM)

Esim. 4. Tien geometrisen muodon joustavuus ja sopusuhtaisuus riippuu suuresti siitä, miten tielinjan ja tasausviivan eri elementit sovitetaan toisiinsa nähden. Elementtien yhteen sovittamisesta on kehitetty lukuisia perspektiivitutkimuksiin perustuvia sääntöjä, jotka koskevat käänne- ja kaaren alkupisteiden sijoitusta sekä tielinjan ja tasausviivan kaarien säteiden suhdetta.

Normaalimääräyksiä ja ohjeita laadittaessa on ongelmana se, ettei läheskään kaikkia perusteita ole vielä täysin selvitetty. Tästä syystä tien suunnittelussa joudutaan toistaiseksi käyttämään osaksi omakohtaista harkintaa.

1.4 Tien suunnauksen määräytyminen

1.41 Suunnauksen suunnittelun pääperiaatteet

Edellä on käynyt selville, että tien suunnittelun lähtökohdista sekä tavoitteena huomioon otettavia tekijöitä on paljon. Lisäksi on huomattava, että tavoitteina huomioon otettavat näkökohdat ovat osaksi ristiriidassa keskenään. Esim. taloudellisin ratkaisu ei täytä aina riittävässä määrin liikenneturvallisuuden ja miellyttävyyden vaatimuksia. Samoin maasto-olosuhteiden kannalta miellyttävin ratkaisu ei ole aina kustannussyistä tarkoituksenmukaisin. Tästä syystä tien suunnauksen suunnittelua varten ei ole toistaiseksi pystytty kehittämään sellaista menetelmää, jota käyttämällä voitaisiin lähtökohdasta päästä suoraa tietä tavoitteisiin. Suoralta kädeltä ei siis yleensä pystytty sovittamaan tietä maastoon ja määräämään tien geometrisen muoto siten, että lopputuloksena olisi yksi ainoa ja paras

mahdollinen ratkaisu, joka täyttää tielle asetettavat vaatimukset ja jossa eri näkökohdat ovat sopivasti painotettuja.

Edellä mainituista syistä tien suunnauksen suunnittelussa täytyy tien teknilliset ominaisuudet ja mitoitusarvot määrätä ainakin toistaiseksi kokeellista suunnittelutapaa käyttäen tutkimalla useita suunnauksen eri vaihtoehtoja.

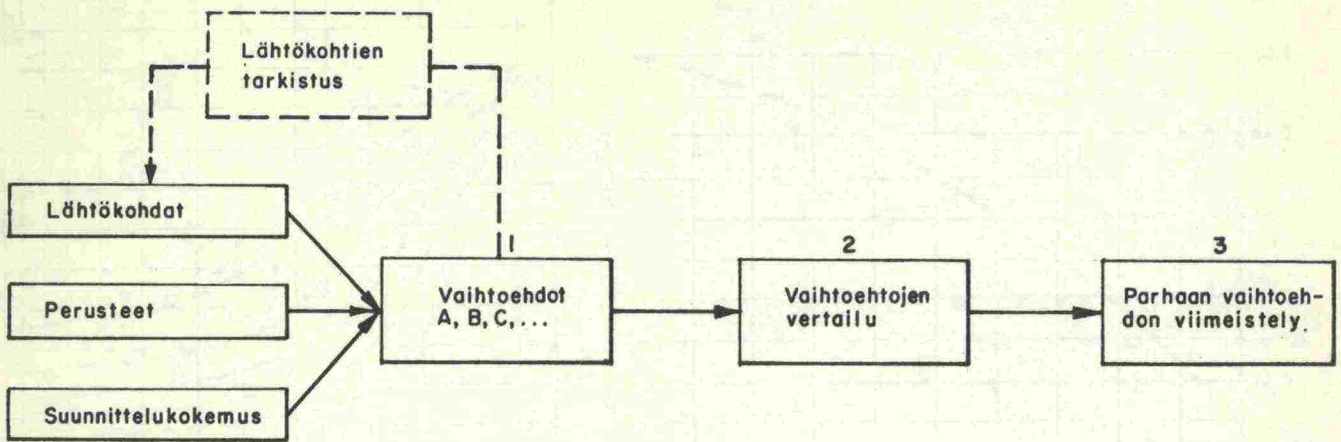
Suunnittelun työjärjestys on tällöin pääperiaatteessa seuraava (kuva 13):

1. Suunnauksen vaihtoehtojen suunnittelu annettujen lähtökohdista, perusteiden ja aikaisemman suunnittelukokemuksen pohjalta
2. Suunnauksen vaihtoehtojen vertailu ja parhaan vaihtoehdon valinta käyttäen tarkoitukseen sopivaa vertailumenetelmää
3. Suunnauksen tarkentaminen ja mitoituksen viimeistely

Kaikissa edellä mainituissa suunnittelun vaiheissa pyritään ko. tielle asetettaviin tavoitteisiin. Suunnauksen vaihtoehtojen suunnittelun yhteydessä saattaa ilmetä näkökohtia, jotka antavat aiheita harkita lähtökohdista tarkistamista.

1.42 Vaihtoehtojen vertailu

Vaihtoehtojen vertailua joudutaan suunnauksen suunnittelussa tekemään sekä yleis- että yksityiskohtaisen suunnittelun yhteydessä. Kummassakin suunnitteluvaiheessa tehtävässä vaihtoehtojen vertailussa otetaan huomioon sekä sellaisia näkökohtia, joita voidaan arvostella rahana että sellaisia, joiden vertailu on suoritettava esimerkiksi arvostelupisteitä antamalla.



Kuva 13.

Rahana arvosteltavia näkökohtia vertaillaan yleensä suuntauksen yleissuunnitteluvaiheessa nykyarvo-, vuosikustannus- tai sisäisen koron menetelmällä ja yksityiskohtaisessa suunnittelussa suoritetaan vertailu yleensä laskemalla vaihtoehtojen markkamääräiset kustannuserot.

Suuntauksen yleissuunnitteluvaiheessa on yleensä tarkoituksenmukaista suorittaa jollakin em. investointilaskentamenetelmällä, sillä niillä saadaan samalla selville vaihtoehtojen kannattavuus ja niillä saadaan eri rakennusvaiheiden kustannukset kapitalisoitua vertailukelpoiseen muotoon. Suuntauksen yksityiskohtaisessa suunnittelussa kannattaa yleensä laskea vain kustannuserot, koska siinä on yleensä kysymys vain kustannusten minimoinnista kuten esim. tutkitaan moottoritieillä kahden eritasoliittymän määräämän pakko-

Sellaisista näkökohdista, joita ei voida arvostella yksinomaan rahana, voidaan mainita esim. liikenneturvallisuus, tien geometrinen muoto, liittymäjärjestelyt, sopivuus maankäyttöön ja ympäristönsuojelunäkökohdat. Tällaisten näkökohtien vertailu voidaan suorittaa siten, että suunnittelija antaa kullekin näkökohdalle arvostelupisteitä ja toisaalta eri alojen asiantuntijat ja päättävät elimet asettavat vertailussa huomioon otettavat näkökohdat keskinäiseen tärkeysjärjestykseen antamalla niille painotuskertoimet.

Vaihtoehtojen vertailua selvitetään parhailaan tvh:ssa, joten normiluonnokseen tulevaan vertailuohjeeseen saattaa ilmetä ko. lisäselvitysten valossa aihetta tehdä täsmennyksiä ja lisäyksiä.

A2. TIEN GEOMETRISEN SUUNNITTELUN LÄHTÖ- KOHTANA OLEVISTA NOPEUSKÄSITTEISTÄ GEOMETRINEN TOIMIKUNTA

0.	YLEISTÄ	1
1.	NOPEUSKÄSITTEET ERI MAISSA	1
1.1	Ruotsi	1
1.2	Norja	1
1.3	Saksa	2
1.4	Sveitsi	2
2.	NOPEUSKÄSITTEET TVL:N UUSISSA OHJEISSA	2
	LÄHDELUETTELO	3

0. Yleistä

Tien geometrisen suunnittelun eräänä tärkeänä lähtökohtana on maassamme 1950-luvulta lähtien ollut ohjenopeus, jolla VTO:n mukaan tarkoitetaan tien tarkoituksen mukaan määrättyä teoreettista nopeutta, minkä perusteella tien geometrisessa mitoituksessa käytettävät vähimmäisarvot määrätään.

VTO:ssa annetaan ohjerajat joiden väliltä ohjenopeus on valta- ja kantateillä, muilla maanteillä sekä paikallisteillä yleensä valittava. Käytännössä on ohjenopeutta valittaessa otettu tien merkityksen lisäksi huomioon maasto-olosuhteet.

Ohjenopeuden perusteella määrätään vähimmäisarvot tielinjan kaarresäteille, tasausviivan taitteiden pyöristyssäteille sekä näkemien pituuksille. Näkemien pituuksien perusteella määrätään näkemäalueet risteyksissä ja liittymissä sekä tielinjan kaarrekohdissa.

Ohjenopeuden käyttö tien geometrisessa suunnittelussa yksinomaan edellä esitetyllä tavalla ei yleensä johda ajodynaamisessa mielessä tasalaatuisen tien geometriaan, vaan tielinjaan, tasausviivan ja poikkileikkauksen elementit saattavat tien eri kohdissa poiketa huomattavasti toisistaan. Vaikeissa maastokohdissa käytetään ohjenopeutta vastaavia raja-arvoja ja vapaissa olosuhteissa mitoitusarvot saattavat poiketa huomattavasti ohjenopeutta vastaavista arvoista.

Viime vuosina ulkomaille suoritettut liikenneturvallisuustutkimukset ovat osoittaneet, että tien geometrisessa suunnittelussa on tärkeää pyrkiä tasaiseen mitoitukseen. Yhtenäisillä tieosilla tulisi tielinjan kaarresäteiden ja tasausviivan pyöristyssäteiden vaihdella riittävän suppeissa rajoissa ja tieolosuhteiden muutoinkin olla jatkuvasti mahdollisimman yhdenmukaiset koko tien pituudella. Tällöin tien käyttäjä voi sovittaa ajotapansa vallitsevien olosuhteiden mukaisesti eikä tieolosuhteiden muutoksista johtuvia yllättäviä vaaratilanteita tule muodostumaan.

Edellä mainitut näkökohdat ovat johtaneet siihen, että eräissä ulkolaisissa normeissa on painotettu suunnitteluelementtien tasaisen mitoituksen tärkeyttä joko erillisellä maininnalla tai ottamalla käyttöön edellä määritellystä nopeudesta poikkeava nopeuskäsite suunnittelun lähtökohdaksi.

1. Nopeuskäsitteet eri maissa

Suunnittelun lähtökohtana käytetään useimmissa maissa lähinnä tietyypin ja maasto-olosuhteiden perusteella valittavaa nopeutta, jonka määrittely kuitenkin on hieman erilainen eri maissa.

1.1 Ruotsi

Mitoitusnopeus (dimensionerande hastighet) on ajonopeus, jota nopeiden ajoneuvoryhmien oletetaan käyttävän tiellä turvallisesti ajaen hyvissä sääolosuhteissa ja muun liikenteen ollessa vähäinen.

Mitoitusnopeus on riippuvainen lähinnä tien luokasta ja paikallisista olosuhteista.

Mitoitusnopeutta määrittäessä on pyrittävä siihen, että tien standardi pysyy yhdenmukaisena pitkällä, yhtenäisillä tieosilla. Huolimatta paikallisesti esiintyvien vaikeiden olosuhteiden aiheuttamista kustannuslisäyksistä on tien tasaisuus säilytettävä.

1.2 Norja

Uusissa suunnitteluohjeissa on esitetty nopeuskäsitteitä, joiden perusteella tien suunnittelu on tapahduttava:

- 1) mitoitusnopeus (dimensjonerende hastighet) on se nopeus, joka valitaan elementtien mitoituksessa ja yhteensovituksen perustaksi tien geometrisessa muotoilussa. Se on korkein turvallinen nopeus tiellä sulan maan aikana sellaisissa tie- ja liikenneolosuhteissa, joissa tien elementit ovat turvallisuudelle määräävinä
- 2) optimimitoitusnopeus (dimensjonerende hastighet, optimal) on se mitoitusnopeus, joka antaa minimiarvon rakennus- ja ajokustannusten summalle
- 3) liikennenopeus (trafikkhastighet) on koko liikennevirran keskinopeus tien osalla

Mitoitusnopeuden määrittäminen edellyttää perusteellista teknistä ja taloudellista tielinjan tarkastelua, koska myös ajo-olosuhteet tulee ottaa huomioon.

Tielinjan tekninen tarkastelu käsittää elementtien sovituksen maastoon, johon tie suunnitellaan.

Mitoitusnopeuden taloudellinen tarkastelu käsittää tielinjan kannattavuuslaskelman, jossa rakentamiskustannuksia verrataan kunnossapito- ja ajokustannuksiin.

Linjauselementtien luontevan yhteensovituksen varmistamiseksi tulee suunnittelijalla olla norjalaisten normien mukaan muitakin menetelmiä käytettävänä kuin mitoitusnopeuden antama tarkistus. Nopeusdiagrammi, joka laaditaan tien kaarre-, näkemä- ym. ominaisuuksien perusteella ja joka kuvaa tien kussakin kohdassa todennäköisiä ajonopeuksia, antaa suunnittelijalle mahdollisuuden tarkastaa, miten tasaiseen nopeustasoon valittu muotoilu johtaa. Jyrkät tien nopeustason muutokset vähentävät tien turvallisuusstandardia, ja geometrista muotoilua tulee siksi korjata siellä, missä nopeusprofiili muuttuu liian jyrkästi. Muutosnopeudelle ei kuitenkaan ole annettu täsmällisiä rajoja.

1.3 Saksa

RAL-L:n painos vuodelta 1965 määrittää suunnittelunopeuden (Entwurfsgeschwindigkeit) seuraavasti: "Suunnittelunopeus on ohjearvo, joka määrätään maaston vaikeuden ja liikennemäärien mukaan niin, että tien parantamis- tai rakentamiskustannukset pysyvät taloudellisesti järkevässä suhteessa teknisiin vaikeuksiin ja liikenteen merkitykseen. Se on siis ensisijaisesti taloudellisuustekijä." Saksalaisissa määräyksissä korostetaan lisäksi sitä, että liikenteen nopeus pysyisi tasaisena mahdollisimman pitkällä matkoilla.

1.4 Sveitsi

Suunnitteluun vaikuttavia nopeuskäsitteitä on kaksi: mitoitusnopeus ja tienopeus. Ko. nopeuksien määritelmät ovat uusimmissa ohjeissa seuraavat:

Mitoitusnopeus on suurin vakionopeus, jolla tiepoikkileikkauksessa voidaan ajaa miellyttävästi ja turvallisesti, mikäli tien turvallisuutta ja miellyttävyyttä arvostellaan yksinomaan tien geometrian perusteella. Se määrää linjauksen elementtien raja-arvot.

Tienopeus on suurin nopeus, jolla voidaan turvallisesti ja miellyttävästi ajaa tietys- sä tien kohdassa, mikäli tien turvallisuutta ja miellyttävyyttä arvostellaan yksinomaan tien geometrian perusteella. Se vahvistaa tällöin linjauksen geometriset arvot.

Mitoitus- ja tienopeus saavat teoreettiset raja-arvot, kun tehdään rajoittava olettaus, että tien miellyttävyys ja turvallisuus määräytyvät yksinomaan tien geometrian perusteella.

Mitoitusnopeudelle on normeissa annettu tiettyypistä riippuen vaihtelualueet, joiden väliltä se tulee valita taajamissa ja niiden ulkopuolella. Mitoitusnopeuden alarajojen arvoja voidaan käyttää ilman olennaista haittaa turvallisuudelle, miellyttävyydelle ja toimivuudelle. Ylärajat vastaavat niitä nopeuksia, joita voidaan pitää suunnittelun, turvallisuuden ja taloudellisuuden kannalta tarkoituksenmukaisina.

Tienopeuden tulisi vaihdella ko. tielle annettujen ala- ja ylärajan välillä. Tien linjaus on valittava siten, ettei tienopeus muutu jyrkästi. Tienopeutta käytetään sivukaltevuuden, näkemien pituuksien ja siirtymäkaarien minimiarvojen määrittämiseen.

Mitoitusnopeus määrää yhtäjaksoisen tieosuuden suunnittelun ja tienopeuden perusteella määrätään tien yksityiskohtia.

2. Nopeuskäsitteet tvl:n uusissa ohjeissa

Edellä esitetyn tarkastelun perusteella voitaneen todeta, että suunnittelun lähtökohtana käytettävät käsitteet eivät ole vielä kansainvälisesti vakiintuneita. Kussakin maassa omaksuttu käytännöllä lienee omat sekä hyvät että huonot puolensa. Uusia ohjeita laadittaessa voitaneen kuitenkin elementtiyhdistelmien tasaisuutta pitää luonnollisena tavoitteena.

Mitoituksen tasaisuuteen voitaneen päästä lähinnä seuraavalla kahdella vaihtoehdoisella tavalla:

A) Ohjenopeuden lisäksi otetaan Sveitsin normien mukaisesti toinen nopeuskäsite, jota voitaneen kutsua tienopeudeksi tai käyttönopeudeksi.

Tämä nopeus määrätään tielinjan ja tasausviivan elementtien perusteella. Mitoituksen tasaisuuteen päästään antamalla tienopeudella vähimmäis- ja enimmäisarvo, joiden välillä sen tulee vaihdella sekä sen muuttumisnopeuden $\frac{(\text{km/h})}{\text{m}}$ enimmäisarvo.

B) Tien elementeille annetaan normeissa vähimmäisarvojen lisäksi ohjearvoja, jolloin tielinjan kaarresäteet ja tasausviivan pyöristyssäteet on yleensä määrättävä ohjenopeudesta riippuvien suhteellisen suppeiden rajojen väliltä.

Lähdeluettelo:

- 1) Valtioneuvoston päätös, joka sisältää teknilliset ohjeet yleisten teiden tekemisestä ja kunnossapidosta sekä ohjeet näkemäalueen määrittämisestä 356/1962
- 2) TVL: Normaalimääräykset ja ohjeet, jotka koskevat yleisten teiden suunnittelua, rakentamista ja kunnossapitoa
- 3) Statens Vägverk, Ruotsi: Normalbestämmelser för vägars geometrisk utforming 1955 ja 1967
- 4) Staten vegvesen, Norja: Vegnormaler, Geometrisk utforming 1967
- 5) FG: Strassenbau von A bis Z 1963
- 6) ETH Strassenbau II/66, Sveitsi: 7 Geschwindigkeiten
- 7) VSS-Kommission 1/, Subkommission 2, Sveitsi: Projektierungsgrundlagen/Ausbau- und Projektierungsgeschwindigkeit, 6 Entwurf 7.6.1968
- 8) AASHO: A Policy on Geometric Design of Rural Highways 1954
- 9) HRB: Highway Capacity Manual 1965
- 10) Wahlgren: Ajoneuvojen nopeuksien riippuvuus eri tekijöistä - erityisesti tien geometriasta - Suomen 2-kaistaisilla maanteillä 1967
- 11) Wahlgren: Liikenneturvallisuusnäkökohdat väyläkohtaisessa suunnittelussa (Jatkokouluskurssi, Liikenneympäristö ja turvallisuus)
- 12) Kallberg: Ohjenopeus ja tienopeus tiesuunnittelun perustana

A3. MAASTON LUOKITUSPERUSTEISTA

GEOMETRINEN TOIMIKUNTA

	sivu
1. Johdanto	1
2. Korkeuseroihin perustuva maaston luokitus	1
3. Maisematyyppiin perustuva maaston luokitus	3

A3 MAASTON LUOKITUSPERUSTEISTA

1. JOHDANTO

Tien rakennus- ja liikennekustannukset, tien geometrinen muoto sekä tien ja maaston sopusointu riippuvat suuresti siitä, minkälaiseen maastoon tie joudutaan suunnittelemaan. Tästä syystä on tärkeätä, että eri maastotyyppit pystytään erottamaan toisistaan ja kukin maastotyyppi pystytään ottamaan tarkoituksemukaisella tavalla huomioon tien suuntausta suunniteltaessa.

Maasto on edullista luokitella tien suuntauksen suunnittelua silmälläpitäen kahdella eri tavalla.

Tien ohjenopeuden valintaa ja taloudellisten näkökohtien arvostelua varten tarvitaan maanpinnan korkeuserojen suuruuteen perustuvaa luokitusta.

Näkemäolosuhteiden muodostamista ja tien muodon suunnittelua varten on maisematyyppiin perustuva luokitus tarpeellinen.

Tien suuntauksen suunnittelussa otetaan teki-jöinä huomioon monet paikallisiin olosuhteisiin kuuluvat tekijät mm. vesistöt, erilaiset rakenteet, pohjaolosuhteet. Näitä tekijöitä ei tässä yhteydessä käsitellä.

2. KORKEUSEROIHIN PERUSTUVA MAASTON LUOKITUS

Maanpinnan korkeudet vaihtelevat eri maastokohdissa vaihtelun suuruuden ollessa eri osissa maastamme 0...200 m. Kuvassa 1 on esitetty Suomen maantieteellisen seuran ja Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen maamme pinnanmuodosta laatima kartta, jossa maasto on jaoteltu korkeusvaihtelujen perusteella kuuteen eri luokkaan ja kuhunkin luokkaan kuuluvat alueet on osoitettu tällä kartalla. Eri pinnanmuodoista on käytetty seuraavia nimityksiä:

- tasanko, korkeusvaihtelut alle 5 m, epätasaisuudet hyvin loivakaartoiset
- lakeus, korkeusvaihtelut 5-10 m
- Kankaremaa, korkeusvaihtelut 10-20 m
- Mäkimaa, korkeusvaihtelut 20-50 m
- Vuorimaa, korkeusvaihtelut 50-200 m
- Ylhiömaa, korkeusvaihtelut yli 200 m

Edellä mainitusta kartasta nähdään, että kaikin tasaisimmat alueet ovat Vaasan ja Oulun läänin länsiosassa. Kaikkein suurimmat korkeusvaihtelut ovat Lapin läänin alueella sekä Oulun läänin itäosassa.

Verrattaessa maamme pinnanmuodostusta muihin Euroopan maihin, voidaan todeta, että Suomessa puuttuu Etelä-Euroopassa esiintyvä vuoristo- ja alppimaasto. Sen sijaan Suomessa esiintyy varsin yleisesti suhteellisen jyrkkiä, lyhyellä matkalla tapahtuvia korkeusvaihteluja. Kun tällaiseen maastoon suunnitellaan suurelle ohjenopeudelle mitoitettuja teitä, muodostuu yleensä korkeita penkereitä ja syviä leikkauksia, eikä tien ja maaston sopusointua voida saavuttaa.

Tekn.lis. M. Vuorio on lisensiaattityössään jaoitellut maaston viiteen vaikeusasteeseen. Tässä luokituksessa on korkeusvaihtelujen lisäksi otettu huomioon myös vesistöt. Eri vaikeusasteista on käytetty seuraavia nimityksiä:(kuva 2)

1. Erittäin helppo maasto
2. Helppo maasto
3. Keskimääräinen maasto
4. Vaikea maasto
5. Erittäin vaikea maasto

Edellä esitettyjen luokitusten perusteella ei voida tehdä kovin tarkkaa johtopäätöstä tien rakentamiseen tarvittavista kustannuksista ja mahdollisuudesta sovittaa tie maastoon. Rakennuskustannuksethan riippuvat suuresti massatöiden suuruudesta, siltojen lukumäärästä jne. Mikäli tielinja seuraa harjun suuntaa, voidaan erittäin mäkisessäkin maastossa selvittää pienillä rakennuskustannuksilla. Harjuihin nähden poikkisuunnassa suunniteltu tie tulee sen sijaan yleensä kalliiksi vaikka harjut eivät olisikaan korkeita.

Tien suuntauksen suunnittelussa on tärkeätä tuntee maaston mäkisyys tien suunnassa, ts. tielinjan kohdalta määrättyssä maaston pituusleikkauksessa.

Kun maaston pituusleikkaus piirretään, on siinä yleensä havaittavissa eri suuruusluokkaa olevia korkeusvaihteluja, jotka voidaan jaoitella seuraavaan kahteen ryhmään:

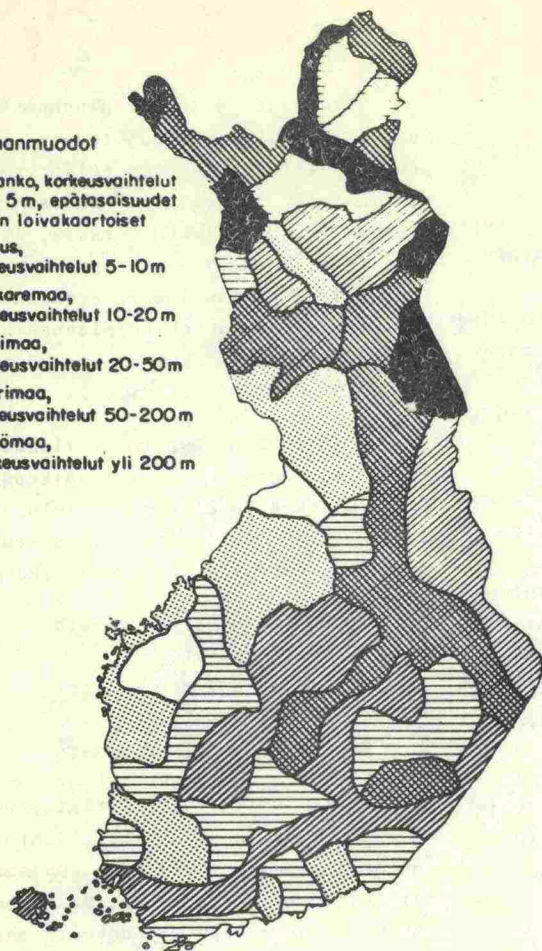
- a) maan pinnan pienehköt korkeuserot, joiden suuruusluokka on ± 1 m.
- b) tien suunnassa säännöllisin tai epäsäännöllisin välimatkoin toistuvat useiden metrien suuruiset korkeuserot

Kohdassa a mainitut pienet korkeuserot eivät yleensä vaikuta merkittävästi tasausviivan muotoon, mutta niillä on vaikutusta penger- ja leikkausmasoihin ja siten myös rakennuskustannuksiin.

Kohdassa b mainitut suurehko korkeuserot vaikuttavat yleensä sekä leikkaus- ja pengermassoihin että tasausviivan muotoon ja sen kautta myös ajokustannuksiin.

Pinnanmuodot

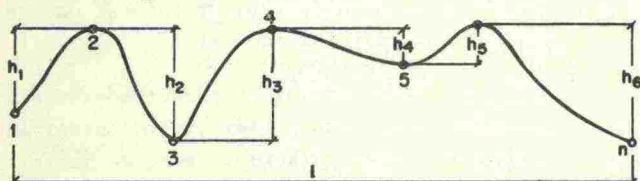
- Tasanko, korkeusvaihtelut alle 5 m, epätasaisuudet hyvin loivakaartoiset
- Lakeus, korkeusvaihtelut 5-10 m
- Kankaremaa, korkeusvaihtelut 10-20 m
- Mäkimaa, korkeusvaihtelut 20-50 m
- Vuorimaa, korkeusvaihtelut 50-200 m
- Ylihiömaa, korkeusvaihtelut yli 200 m



Kuva 1. Pinnanmuodot Suomen kartaston mukaan

Koska maanpinnan korkeusvaihtelut ovat yleensä varsin epäsäännöllisiä, on vaikeata esittää mitään täsmällistä ilmaisua, jolla maanpinnan muotoa voitaisiin kuvata. Tämä tehtävä onnistuu jossain määrin paremmin, kun pituusleikkaus jaotellaan korkeusvaihtelujen puolesta mahdollisimman tasalaatuisiin osiin ja sovelletaan samaa laskukaavaa kuin tien mäkisyyden määrittelyssä. Pienet, edellä kohdassa a määritellyt korkeuserot jätetään tällöin ottamatta huomioon, mikä saattaa tapahtua esim. piirtämällä maaston pituusleikkaus 2 metrin korkeuskäyrien perusteella. Tämän jälkeen kunkin pituusleikkauksen osan mäkisyyysluku voidaan laskea kaavasta [1]

Maaston mäkisyyys



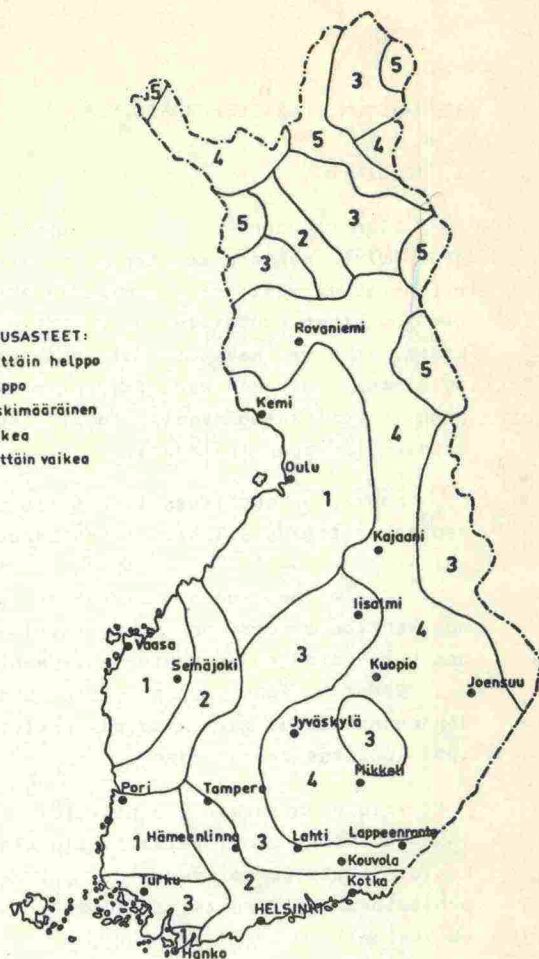
$$\text{Maaston mäkisyyys } M = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6}{l} = \frac{\sum h}{l} \quad [1]$$

$$\text{Korkeuksien vaihtelevuus } F = \frac{n}{l} \quad [2]$$

$h = [m]$
 $l = [km]$
 $n = [kpl]$

VAIKEUSASTEET:

1. Erittäin helppo
2. Helppo
3. Keskimääräinen
4. Vaikea
5. Erittäin vaikea



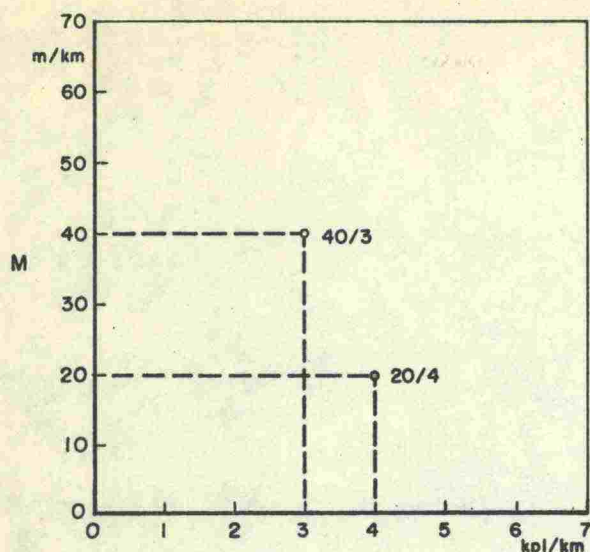
Kuva 2. Maaston topografisten olosuhteiden vaikeusaste eri osissa maata
 (Tekn. lis. M. Vuorion mukaan)

Ottaen huomioon maaston korkeusvaihtelujen epäsäännöllisyyden voitaneen maaston jaottelua mäkisyyksiluvun perusteella kolmeen eri luokkaan pitää tien geometrista suunnittelua silmälläpitäen riittävänä. Seuraava luokitus vaikuttaa tarkoituksenmukaiselta:

	mäkisyyysluku m/km
tasainen maasto	0...10
mäkinen maasto	10...40
erittäin mäkinen maasto	> 40

Maaston korkeusvaihteluja kuvaavaa ilmaisua voidaan täsmentää ilmoittamalla korkeuksien vaihtelevuutta osoittava luku eli pituusleikkauksen maksimi- ja minimikohtien keskimääräinen esiintymistiheys tarkasteltavalla välillä (lukumäärä 1 km:n pituista matkaa kohti).

Käyttämällä maaston mäkisyyttä ja korkeusvaihtelua kuvaavaa ilmaisua muodossa M/F voidaan siis kahdella luvulla likimääräisesti osoittaa, minkälainen on maaston muoto. Koordinaatistossa, jonka y-akseli osoittaa mäkisyyttä ja x-akseli korkeuksien vaihtelevuutta voidaan kutakin edellä mainitulla tavalla määriteltyä maaston muotoa kuvata yhdellä pisteellä (kuva 3).



Kuva 3. Maaston muodon osoittaminen kordinaatistossa

Ottaen huomioon kunkin tyyppisen tien geometrisille elementeille asetettavat vaatimukset on edellä mainitussa xy-tasossa mahdollista osoittaa likimääräisesti tietyn tyyppisen tien suunnittelun kannalta helpot, vaikeat ja erittäin vaikeat maaston muodot (Kuva 4).

3. MAISEMATYYPPIIN PERUSTUVA MAASTON LUOKITUS

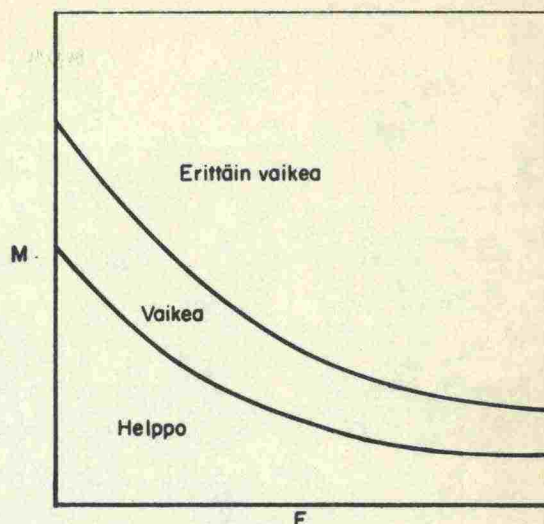
Maisemalla tarkoitetaan yleisesti ihmisen näkemää ympäristöä.

Luonnonmaisemaksi nimitetään luonnossa muodostunutta maisemaa, johon ihminen ei ole vaikuttanut. Kulttuurimaisemaksi nimitetään ihmisen aikaansaamaa maisemaa.

Maisematyyppiin perustuvalla maaston luokituksella tarkoitetaan jäljempänä luonnonmaiseman tyyppiä, joka riippuu maan pinnan korkeusvaihteluista ja kasvillisuudesta.

Optisiin näkökohtiin perustuvassa tien muodon suunnittelussa otetaan huomioon maisematyyppi siten, että näkemäolosuhteet olisivat riittävän hyvät, tien ja maaston sopusointu saavutettaisiin tiellä olisi optinen johdatus ja joustava muoto.

Maasto voidaan korkeuserojen perusteella jaotella kolmeen tyyppiin: tasaiseen, mäkiseen ja



Kuva 4. Maaston vaikeusluokitus

erittäin mäkiseen maastoon. Tässä luokituksessa tasainen maasto on sellainen, jossa maanpinnan korkeusvaihtelut eivät rajoita näkemää tien suunnassa eivätkä ole maisemalle leimaa antavia. Mäkiseksi sanotaan sellaista maastoa, jossa mäet rajoittavat jossain määrin näkemän pituutta ja ovat maisemassa näkyviä. Erittäin mäkinen maasto on sellainen, jossa näkemät ovat lyhyitä ja mäet maisemakuvaa hallitsevia.

Puu- ja pensaskasvillisuudella on merkityksensä mm. näkemää rajoittavana esteenä tielinjan kaarteiden kohdalla tasaisessa maastossa. Näkemän pituus vaikuttaa mm. tien geometrisessa suunnittelussa käytettävien mitoituselementtien valintaan. Mäkisessä tai erittäin mäkisessä maastossa näkemä on jo maaston korkeuserojen takia rajoitettu, josta syystä kasvillisuudella ei ole samaa merkitystä kuin tasaisessa maastossa.

Edellä esitetyn perusteella seuraava maisematyyppiin perustuva maaston luokitus tuntuu tien suunnittelua silmälläpitäen tarkoituksenmukaiselta.

- tasainen aukea maasto
- tasainen metsäinen maasto
- mäkinen maasto
- erittäin mäkinen maasto

A4. PYSÄHTYMISMATKA

OLLI HINTIKKA

1. JARRUTUKSEN TEORIAA	1
1.0 Yleistä	1
1.1 Reaktioaika	1
1.2 Hidastuvuus ja kitkakerroin	1
1.20 Yleistä	1
1.21 Muuttuvasti hidastuva liike	3
1.22 Tasaisesti hidastuva liike	3
 2. JARRUTUSKOKEET	 4
2.0 Yleistä	4
2.1 Tuusulantien jarrutuskokeet	4
2.2 Jarrutuskokeet Alastarossa	6
2.3 Tulosten vertailua	10
 3. VTO:n PYSÄHTYMISMATKAN TARKISTAMINEN	 11
3.1 Reaktioaika eri maissa ja näissä kokeissa	11
3.2 Kitkakerroin eri maissa ja näissä kokeissa	11
3.3 Ehdotus pysähtymismatkaksi	12

1. JARRUTUKSEN TEORIAA

1.0 Yleistä

Liikenteessä olevan ajoneuvon nopeuden pienentäminen tapahtuu useimmiten moottorijarrutuksena tai erillisten jarrulaitteiden avulla. Seuraavassa tarkastellaan viimeksi mainittua jarrutustapahtumaa.

Ennen varsinaista jarrutusta tarvitaan tietty aika jarrutuksen aiheuttavan syyn havaitsemisesta siihen, kun jarrut alkavat vaikuttaa nopeutta pienentävästi. Tänä aikana (reaktioaikana) kuljettu matka lisätään varsinaisen jarrutuksen vaatimaan matkaan jolloin saadaan pysähtymiseen tarvittava kokonaismatka. Tämä lasketaan yleensä kaavasta:

$$(1) L = t_r \cdot \frac{V}{3.6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f + s)}$$

jossa

- L = pysähtymismatka (m)
- t_r = reaktioaika (sek.)
- V = nopeus ennen jarrutusta (km/h)
- f = kitkakerroin (-)
- s = pituuskaltevuus (-)

Kaavassa ensimmäinen yhteenlaskettava on reaktioaikana kuljettu matka, josta myöhemmin käytetään lyhennystä L_r ja toinen yhteenlaskettava on lähinnä kitkasta riippuva jarrutusmatka, josta käytetään lyhennystä L_f .

Kaavasta (1) nähdään, että pysähtymismatkan pituus riippuu:

- nopeudesta
- reaktioajasta
- kitkasta
- pituuskaltevuudesta

Näistä nopeuden vaikutus on useampitahoinen. Kaavasta (1) näkyy nopeuden suoranainen merkitys pysähtymismatkaan. Lisäksi nopeus vaikuttaa kitkakertoimen ja mahdollisesti reaktioajan arvoon.

Jäljempänä tarkastellaan reaktioaikaa ja kitkakerrointa erillisissä luvuissa.

Pituuskaltevuuden vaikutus jätetään myöhemmässä käsittelyssä huomioonottamatta.

1.1. Reaktioaika

Jarrutuksen aiheuttaa joko todellinen tai kuviteltu liikenne-este. Varsinaista jarrutusta edeltää joukko toimintoja, jotka vaativat tietyn ajan. Tällaisia ovat esim. esteen havaitseminen, tilanteen arvosteleminen ja

päätös, jalan siirtäminen jarrupolkimelle jne. Näiden toimintojen vaatimaa kokonaisaikaa kutsutaan seuraavassa reaktioajaksi.

Reaktioajan pituus voi vaihdella varsin paljon kuljettajasta ja liikennetilanteesta riippuen. Suunnittelun lähtökohdaksi sopivan reaktioajan määrittäminen ei ole helppoa, koska reaktioajan mittaaminen käytännön tilanteissa on suuritöinen ja vaikea tehtävä. Järjestetyssä kokeessa on reaktioaika ilmeisesti toinen kuin todellisissa liikennetilanteissa.

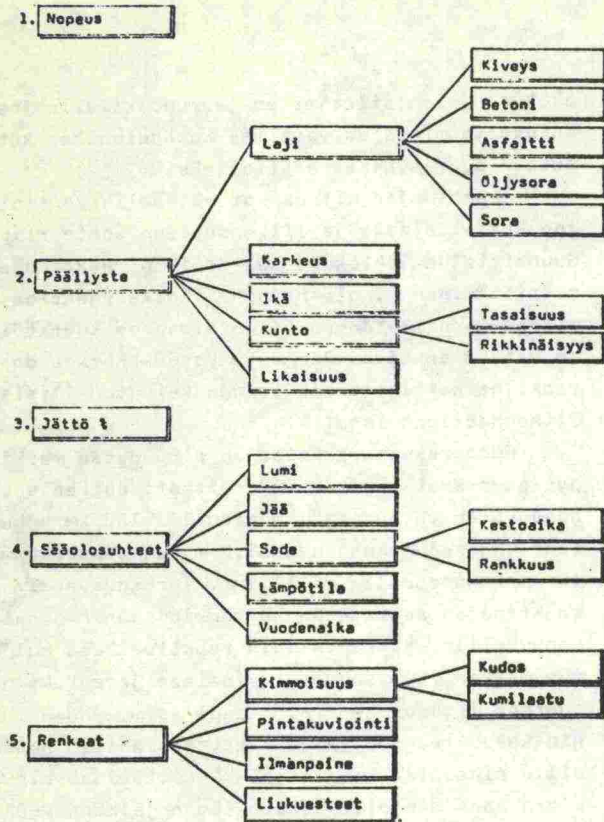
Epätarkkuus reaktioajan pituudessa merkitsee pysähtymismatkaan metrimääräisesti eniten suurien nopeuksien yhteydessä. Nopeudella 120 km/h kuljetaan yhdessä sekunnissa 33,3 m kun vastaava matka 40 km/h nopeudella on 11,1 m. Tarkkuusvaatimus reaktioajan suhteen on kuitenkin suurin pienillä nopeuksilla, koska tällöin reaktioaikana kuljetun matkan (L_r) suhde varsinaisen jarrutuksen pituuteen (L_f) on suurin. Niinpä esim. yhden sekunnin kasvu reaktioajassa saattaa pienillä nopeuksilla aiheuttaa sen, ettei käytettävissä oleva kitka anna mahdollisuuksia tämän jälkeen enää pysäyttää suunnittelijan tarkoittamalla matkalla. Suuremmilla nopeuksilla tämä "myöhästymisen" on mahdollista korvata käyttämällä suurempaa kitkakerrointa.

Eri maiden suunnitteluohjeissa vaihtelee käytetty reaktioaika 1...3 sek. Eräät maat käyttävät reaktioaikaa, joka on suurin pienillä nopeuksilla ja pienenee nopeuden kasvaessa. Useimmat ovat kuitenkin nykyisin siirtyneet käyttämään nopeudesta riippumatonta vakio-reaktioaikaa. Reaktioaikojen numeroarvoja on esitetty kohdassa 3.1.

1.2 Hidastuvuus ja kitkakerroin

1.20 Yleistä

Jarruttaessa aiheutetaan ajoneuvon pyöriin pyörimisliikettä vastustava momentti. Tällöin syntyy pyörien ja tien pinnan kosketuskohtaan reaktiovoima, jonka suuruus on riippuvainen pyöräpainosta ja jarrutuksen voimakkuudesta. Reaktiovoiman suhde pyöräpainoon on kitkakerroin, jonka arvo on siis riippuvainen ainoastaan jarrutuksen voimakkuudesta. Kitkakerroin voi saavuttaa tietyn enimmäisarvon, jonka suuruus on riippuvainen esim. ajoneuvon nopeudesta, renkaista, tien pinnan laadusta ja kunnosta, sääolosuhteista, pyörien luiston asteesta eli jätöstä jne. Kitkakertoimen enimmäisarvosta käytetään seuraavassa nimitystä enimmäiskitka (f_{\max}). Kitkanmittauksissa pyritään yleensä määrittämään juuri tämä enimmäisarvo.



- Nopeuden kasvaessa kitkakertoimen pienenee
- Vanha, kulunut kiveys voi märkänä olla vaarallisen liukas
- Karkea betonipäällyste erittäin turvallinen
- Kerkeat asfalttibetonit turvallisia, sileät märkinä ja suurilla nopeuksilla vaarallisia
- Uusi oljysora märkänä voi olla vaarallisen liukas
- Runsasravinen, märkä savisorapäällyste voi olla liukas
- Sileät päällysteet märkänä vaarallisia
- Uudet asfaltti- ja oljysorapäällysteet usein liukkailla
- Epätasainen tai rikkiäinen päällyste voi irroittaa pyörän "otteen" tiestä ja näin vähentää kitkan hyväksikäyttöä
- Likainen päällyste usein liukas
- Suurimmat kitka-arvot 17-20 %:n jätöllä
- Lumi ja jää alentavat kitkan murto-osaan kesäolosuhteiden arvosta
- Sateen alussa kitkakertoimen alennus suurin
- Vesimäärä vaikuttaa suurilla nopeuksilla oleellisesti kitkan suuruuteen
- Alhaisessa lämpötilassa kitka suurin
- Talven jälkeen kitka suurin
- Kimmottomalla renkaalla kitka suurin
- Kerkeäkuviolla renkaalla hyvät kitkaominaisuudet
- Liian pieni tai suuri ilmanpaine pienentää kitkaa
- Liukuesteet lisäävät kitkaa lumella ja jäällä, mutta vähentävät kesäolosuhteissa

Kuva 1. Enimmäiskitkaan vaikuttavat tekijät

Kitkavoimien vaikutuksesta saa ajoneuvo tietyn hidastuvuuden. Kitkakertoimen ja hidastuvuuden välillä on yhtälö:

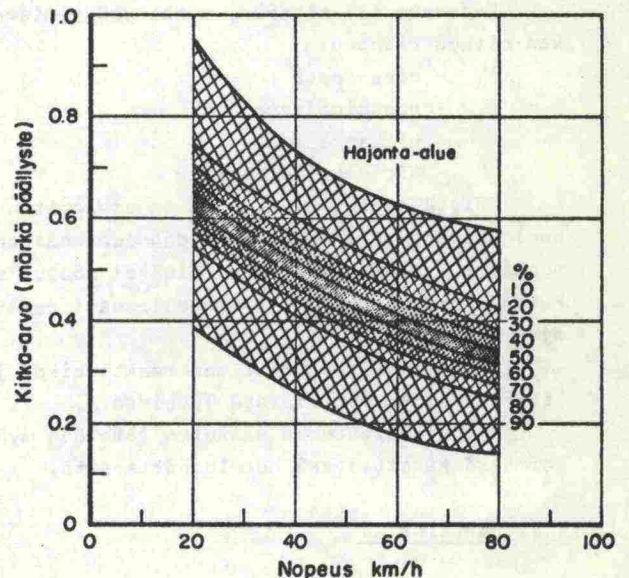
$$(2) a = g \cdot f$$

jossa a = hidastuvuus (m/s^2)
 g = painovoiman kiihtyvyys
 (meillä yleensä n. 9.81 m/s^2)
 f = kitkakertoimen (-)

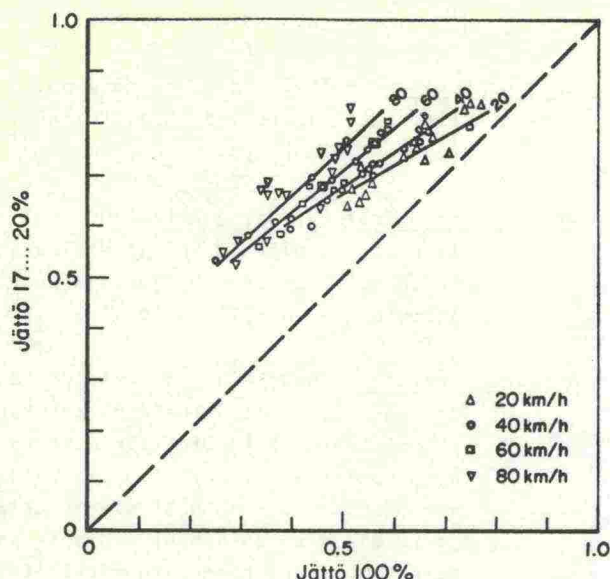
Kaavasta nähdään, että hidastuvuus on numeroarvoltaan noin kymmenkertainen kitkakertoimeen verrattuna.

Enimmäiskitkakertoimen suuruuteen vaikuttavat mm. seuraavat tekijät (kuva 1):

- nopeus (kuva 2)
- päällyste (laji, karkeus, kunto, ikä)
- jättö (kuva 3)
- sääolosuhteet (lumi, jää, sade, lämpötila, vuodenaika)
- renkaat (kuviointi, kumin laatu, liukuesteet)



Kuva 2. Saksalaisten päällysteiden kitka-arvojakautumia.



Kuva 3. Mittapyörän jätön vaikutus mittaus-
tulokseen.

Normaalissa jarrutuksessa ei yleensä käytetä enimmäiskitkakertoimen suuruista kitkaa, vaan käytetty kitkakerroin on sitä pienempi. Koska enimmäiskitkakerroin pienenee nopeuden kasvaessa, saattaisi jarrutuksen aikana olla mahdollista käytetyn kitkakertoimen suurentaminen nopeuden pienentyessä. Koska ei ole tarkemmin tiedossa, miten kuljettajat tässä suhteessa menettelevät, käytetään laskelmissa yleensä eräänlaista keskimääräistä kitkaa, jonka oletetaan olevan vakion koko jarrutuksen ajan. Tämä kitka-arvo saattaa esim. nopeudesta 120 km/h jarrutettaessa olla jopa suurempi kuin nopeutta 120 km/h vastaava enimmäiskitka-arvo. Tällöinhän nopeuden pienentyessä voidaan käytettyä kitkaa koko ajan suurentaa. Näinollen eivät laskelmissa käytetty kitka ja mittauksiin perustuva enimmäiskitka teoreettisesti tarkastellen ole vertailukelpoisia. Ero lienee käytännössä kuitenkin niin pieni, että mittauksista saatua kitkaa voidaan tietyllä varmuuskerroinlailla kerrottuna hyvin käyttää laskelmien lähtökohtana.

1.21 Muuttuvasti hidastuva liike

Mikäli jarrutuksen aikana kitkakerroin ja hidastuvuus muuttuvat, on kysymyksessä muuttuvasti hidastuva liike. Liikkeen analysointi ts. hidastuvuuden, nopeuden ja sijainnin määrittäminen on mahdollista, jos tunnetaan yksi edellä mainituista suureista. Liikettä voidaan tutkia esim. hidastuvuusdiagrammin avulla. Tällöin tunnetaan siis hidastuvuus esim. käyrän muodossa ajan funktiona. Mikäli käyrä on esitettävissä yksinkertaisessa matemaattisessa muodossa, voidaan nopeus ajan funktiona ratkaista laskemalla kaavasta:

$$(3) \quad v(t) = \int_0^t a(t) dt$$

ja matka s vastaavasti kaavasta

$$(4) \quad s(t) = \int_0^t v(t) dt = \int_0^t \int_0^t a(t) dt dt$$

Yleensä hidastuvuusikäyrä voi kuitenkin vaihdella ja matemaattinen ratkaisu ei useinkaan ole sopiva. Tällöin voidaan tehtävä ratkaista graafisesti integroimalla. Se tapahtuu seuraavasti:

- piirretään hidastuvuusikäyrä siten, että abskissana on aika ja ordinaattana hidastuvuus
- määrätään esim. planimetrillä tietyn ajan kohdan jälkeisen hidastuvuusikäyrän ja abskissa-akselin väliin jäävän alueen pinta-ala. Pinta-ala = nopeus ko. ajankohtana.
- toistetaan menettely riittävän monen eri ajankohdan suhteen.
- piirretään käyrä, jonka abskissana on aika, ordinaattana edellä saadut nopeudet. Käyrästä nähdään nopeus kullakin hetkellä.
- toistamalla eo. menettely nopeuskäyrän suhteen saadaan matka-aika-diagrammi. Diagrammista näkyy ajoneuvon sijainti kunkin hetkenä.

Koska todellisia jarrutustapahtumia ei ole toistaiseksi riittävän paljon tutkittu, ei muuttuvasti hidastuvan liikkeen teoriaa ole yleensä laskelmissa sovellettu, vaan on käytetty tasaisesti hidastuvan liikkeen kaavoja.

1.22 Tasaisesti hidastuva liike

Tasaisesti hidastuvan liikkeen yhteydessä voidaan nopeuden, matkan ja jarrutusmatkan laskemiseksi käyttää seuraavia kaavoja:

$$(5) \quad v = v_0 - a \cdot t$$

$$(6) \quad s = v_0 t - \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$(7) \quad L_f = \frac{v_0^2}{2a}$$

$$(8) \quad L_f = \frac{v_0^2}{254 \cdot f}$$

joissa v = nopeus (m/s) ajankohtana t
 v_0 = nopeus (m/s) ennen jarrutusta
 V_0 = " (km/h) " " "
 t = aika (sek) jarrutuksen alkamisesta
 a = hidastuvuus (m/s²)
 s = aikana t kuljettu matka (m)
 f = keskimääräinen kitkakerroin (-)
 L_f = jarrutusmatka (m) pysähtymiseen saakka

Mikäli halutaan laskea keskimääräinen kitkerroin tai hidastuvuus tunnetun nopeuden tai jarrutusmatkan perusteella, saadaan ne kaavoista:

$$(9) f = \frac{v_o^2}{254 \cdot L_f}$$

$$(10) a = \frac{v_o^2}{2 \cdot L_f}$$

Merkinnät samat kuin edellä. Tarvittaessa käytetään kaavaa (2).

Edellä olevissa kaavoissa (7)...(10) ei ole otettu huomioon tien mahdollista pituuskaltevuutta.

Kaavoja sovellettaessa on otettava huomioon, että kitkerroin valitaan pienemmäksi kuin ko. olosuhteissa esiintyvä enimmäiskitka.

2. JARRUTUSKOKEET

2.0 Yleistä

Valtioneuvoston teknillisissä ohjeissa esitetyt pysähtymisnäkemän arvot perustuvat lähinnä kirjallisuudesta saatuihin lähtöarvoihin. Teknillistaloudellisen toimiston toimesta suoritettiin 1.12.-67 ja 25.-26.6.-68 jarrutuskokeita, joiden tarkoituksena oli Vto:n ohjeiden tarkistaminen. Edellisissä kokeissa mitattiin pysähtymismatka tietyllä "reaktioajalla", jälkimmäisessä ilman sitä. Seuraavassa on selostettu jarrutuskokeita ja pyritty analysoimaan niiden tuloksia.

2.1 Tuusulantien jarrutuskokeet

Kokeiden suoritusajankohta: 1.12.1967

Suorituspaikka: Rakenteilla oleva Tuusulan moottoritie Vantaan sillan läheisyydessä. Kokeiden aikana tie oli yleiseltä liikenteeltä suljettu.

Kokeisiin osallistuneet ajoneuvot: Tvh:n mittaus-autot Ford Taunus 17 M ja Volvo Amazon sekä tutk. apul. Lehkamon omistama auto Volkswagen 1600 L. Kokeissa todettiin, että auton Taunus 17 M jarrut vaativat suurimman poljinvoiman kun taas pienin oli VW 1600 L:llä. Poljinvoimaa ei kuitenkaan välineiden puuttuessa kokeissa mitattu.

Ajoneuvojen kuljettajat: Rkm. Jurmu, tekn.yo. Lampinen ja tutk.apul. U. Lehkamo. Jurmu ja Lampinen olivat ennen koetta toimineet tvh:n mittausautojen kuljettajina. Lehkamolla on pitkäaikainen ajokokemus.

Tienpinta: Uusi, karkea asfalttibetoni.

Sääolosuhteet: Koepäivänä oli satanut, joten tienpinta oli kostea. Lammikoita ei kuitenkaan esiintynyt.

Jarrutusten määrä: 51 kpl, joista Taunuksella 15 kpl, Volvolla 18 kpl ja Volkswagenillä 18 kpl. Jokainen kuljettaja suoritti jarrutuksia kaikilla autoilla.

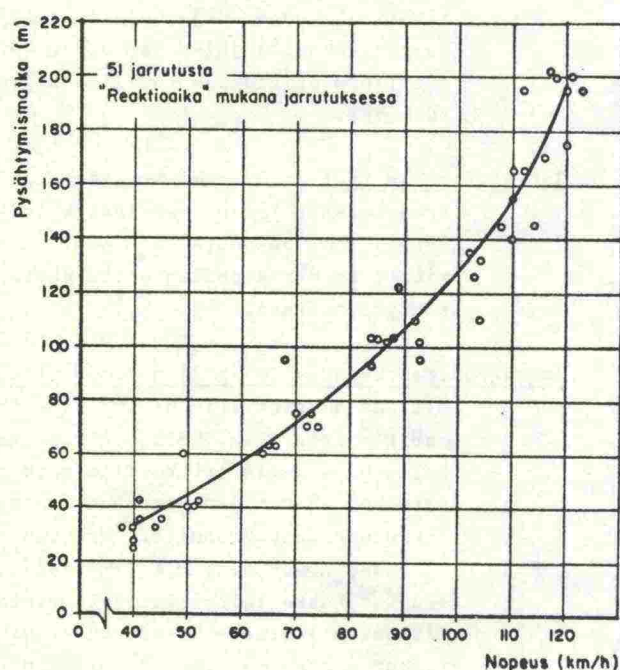
Kokeiden suoritus: Yksittäinen jarrutuskoe suoritettiin siten, että ennen jarrutuksen alkamiskohtaa kiihdytettiin auton nopeus haluttuun arvoon. Merkityn paalun jälkeen aloitettiin mahdollisimman tasainen jarrutus ja auton pysähtymiskohta todettiin tien reunaan ennalta merkityistä mittatikuista. Jarrutuksen voimakkuus pyrittiin pitämään sellaisena, ettei hidastuvuus aiheuttanut epämiellyttävyyden tunnetta. Nopeus todettiin ennen jarrutusta sekä auton mittarista että tutkalalla. Kuljettajan vieressä istui tulosten merkitsijä, joka ilmoitti kuljettajalle jarrutuksen alkamisesta merkillä "nyt". Tämän jälkeen kuljettaja nosti rauhallisesti jalan kaasupolkimelta ja alkoi jarrutuksen. Näin saatiin jarrutustapahtumaan mukaan jonkinlainen "reaktioaika".

Tulokset: Kokeiden tulokset on esitetty taulukossa 1. Ryhmittely on suoritettu autojen ja kuljettajien perusteella. Kussakin osataulukossa on vasemmanpuoleisena sen kuljettajan tulokset, jolle ko. auto on tutuin. Tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 4. Jarrutuskokeista saatua keskiarvokäyrää on verrattu eräisiin muista lähteistä saatuihin käyriin kuvassa 5.

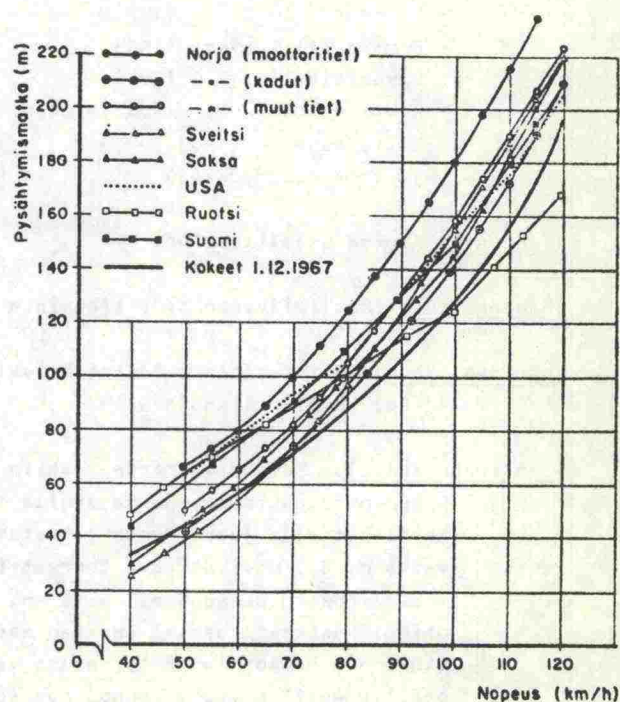
Johtopäätökset: Kokeen järjestelystä ja käytettävissä olleiden laitteiden vähäisyydestä johtuen ei tulosten tarkka analysointi ole mahdollinen. Jarrutustapahtumaan sisältynyttä "reaktioaikaa" ei ole voitu mitata. Reaktioaika ei järjestetyssä kokeessa ole varmaankaan sama kuin todellisissa liikennetilanteissa. Viimeksimainituissa lienee reaktioaika suurempi. Jarrutuksissa käytetty hidastuvuus on jäänyt arvioinnin varaan eikä sen suuruutta näissä kokeissa ole mitattu. Edellä mainituista syistä on tuloksiin suhtauduttava varauksella. Kuvan 5 vertailusta nähdään, että tulokset sattuivat alueelle, jolla useimmat ohjekäyrät sijaitsevat. Melkein kaikki kokeissa saadut tulokset jäivät nykyisen Vto:n käyrän alapuolelle. Jos em. olettamus

Taulukko 1 Tulokset jarrutuskokeista 1.12.1967

	TAUNUS			VOLKSWAGEN			VOLVO		
	V_a	V_t	L_f	V_a	V_t	L_f	V_a	V_t	L_f
	(km/h)	(km/h)	(m)	(km/h)	(km/h)	(m)	(km/h)	(km/h)	(m)
JURMU	50	40	32 ^L	50	44	32	40	40	25
	80	66	63 ^T	60	51	40 ^T	48	45	35 ^T
	100	88	103 ^T	80	72	70	70	64	60
	120	110	140 ^T	100	93	102	90	84	93
	132	120	175	110	104	110 ^T	112	103	126
				122	116	170 ^T	128	120	195
LEHKAMO	50	42	35 ^L	50	42	35 ^L	42	38	32
	80	68	95 ^L	80	73	75 ^L	54	49	60
	100	89	122	100	92	110	70	65	63
	120	112	195	110	104	132 ^T	89	84	103
	128	118	200	115	108	145	110	102	135
				118	110	165	130	123	195
LAMPINEN	50	41	42	49	41	35	40	40	27
	80	70	75	61	52	42	50	50	40
	98	87	102	82	74	70	70	66	63
	119	110	155	100	93	95 ^T	92	85	103
	131	121	200	110	104	110 ^T	120	112	165 ^T
				120	114	145	128	117	202 ^T

 V_a = nopeus auton mittarin mukaan V_t = nopeus tutkalla L_f = jarrutusmatka^L = hidastuvuus jarrutuksessa arvioitu keskimääräistä pienemmäksi^T = hidastuvuus jarrutuksessa arvioitu keskimääräistä suuremmaksi

Kuva 4 Jarrutuskokeet 1.12.1967



Kuva 5 Jarrutuskokeiden tulosten vertailu muihin tuloksiin

liian pienestä reaktioajasta pitää paikansa olisi koetuloskäyrää nostettava. Tämä merkitsisi sitä, että nykyisten Vto:n pysähtymisnäkemien arvot ovat suuruusluokaltaan oikeita. Kokeista saatu käyrä kylläkin viittaisi siihen, että nykyisen Vto:n käyrän suunta ei olisi aivan oikea. Pienillä ohjenopeuksilla Vto:n käyrä voisi olla alempana ja suurilla nopeuksilla (yli 100 km/h) kentiesylämpänä. Näillä kokeilla ei kuitenkaan voida perustella Vto:n muutoksen tarpeellisuutta.

2.2 Jarrutuskokeet Alastarossa

Aika: 25.6. - 26.6.1968

Paikka: Virttaankankaan varaslaskupaikka Alastarossa

Autot: Henkilöautot Renault R8, Anglia 1200 ja Fiat 1300 sekä farmariauto Volkswagen 1600. Renaultissa on levyjarrut, Angliassa ja Fiatissa rumpujarrut, Volkswagenissa levyjarrut edessä, rumpujarrut takana.

Ajoneuvojen kuljettajat: Ins. Hintikka tvh:sta (Renault), ins. Aulasvuo tvl:n Turun piiristä (Anglia), ins. Syyrakki tvh:sta (Fiat), ja tutk.apul. U. Lehkamo tvh:sta (Volkswagen). Jokainen kuljettaja ajoi kokeissa omalla ajoneuvollaan, jolloin ajoneuvon hallinta oli paras mahdollinen.

Kokeissa käytetty kalusto:

- Tutka (Tvh)
- Motometri (Tvh)
- 8 mm:n filmikamera (TKK)
- Sekunttikello (Tvh)
- Kasteluauto (Tvl/Turun piiri)
- Mittanauha, -tikkuja ja tarkistusmerkkejä

Tienpinta: Karkea asfalttibetoni

Sääolosuhteet: Puolipilvinen sää, tienpinta kuiva.

Kokeiden määrä: 98 kpl, joista 51 kpl kuivalla, 47 kpl märällä tienpinnalla.

Tienpinnan kastelu: Märkä tienpinta saatiin aikaan kasteluautolla, jonka avulla laskettiin tielle juuri ennen jarrutusta vettä n. 6 l/m². Vastaava teoreettinen vesikerroksen paksuus oli n. 6 mm. Vesi painui kuitenkin osaksi karkean asfalttibetonin huokosiin ja toisaalta valui päällysteeltä sivuun. Tienpinnan sivukaltevuus mittauskohdalla oli n. 4%.

Kokeiden suoritus: Kullakin ajoneuvolla suoritettiin jarrutuksia sekä kuivalla, että märällä tienpinnalla. Nopeus pyrittiin saamaan ennen jarrutusta 40, 60, 80, 100 ja 120 kilometriksi tunnissa. Märällä tienpinnalla ei kuitenkaan turvallisuussyistä käytetty nopeutta 120 km/h. Jarrutuksen yhteydessä mitattiin seuraavat suureet:

- nopeus ennen jarrutusta
- jarrutusmatkan pituus
- jarrutuksen kesto aika
- jarrupoljinvoima ja jarrutushidastuvuus

Lisäksi kuvattiin autot jarrutuksen aikana 8 mm:n filmikameralla ajoneuvojen pituussuuntaisen kallistuman määrittämiseksi.

Jokaisesta nopeudesta pyrittiin saamaan kaksi onnistunutta havaintoa. Usein jouduttiin koe suorittamaan 3 tai 4 kertaa koska kaikki määritykset eivät onnistuneet samanaikaisesti. Tavallisin kokeen uusimisen syy oli jarrutushidastuvuusdiagrammin epäonnistuminen.

Nopeuden mitta: Nopeus määritettiin tvh:n tutkalla juuri ennen jarrutuksen aloittamista. Auton nopeusmittarin avulla pyrittiin nopeus pitämään viimeisellä sadalla metrillä ennen jarrutusta mahdollisimman tasaisena.

Jarrutusmatkan pituus: Jarrutusmatka määritettiin tien reunan sijoitetuista mittatikuista metrin tarkkuudella.

Jarrutukseen ei sisältynyt mitään "reaktioaikaa", vaan kuljettajalla oli jo paalun kohdalla jalka jarrulla. Näin pyrittiin määrittämään todellinen jarrutusmatka.

Jarrutuksen kesto aika: Ajan mittauksen suoritti koeautossa tulosten merkitsijä (tekn.yo. Söderström) sekuntikellon avulla. Aika mitattiin merkkipaalun ohituksesta pysähtymishetkeen.

Jarrutushidastuvuuden ja -poljinvoiman mitta:

Mittaus suoritettiin piirtävällä "Motometer"-mittarilla. Laite piirtää tasaisella nopeudella liikkuvalla paperilla jatkuvan käyrän jarrupoljinvoimasta ja jarrutushidastuvuudesta. Jarrutushidastuvuuden arvot ovat diagrammissa liian suuria, koska laite mittaa toimintaperiaatteesta johtuen hidastuvuusarvoihin mukaan ajoneuvon pituussuuntaisen kallistuman.

Taulukko 2 Tulokset jarrutuskokeista 25.6.-26.6.1968

Kuiva tienpinta

Renault					Volkswagen					Anglia					Fiat				
N:o	V _a km/h	V _t km/h	L _f m	T _{min} 100	N:o	V _a km/h	V _t km/h	L _f m	T _{min} 100	N:o	V _a km/h	V _t km/h	L _f m	T _{min} 100	N:o	V _a km/h	V _t km/h	L _f m	T _{min} 100
2	52	40	23	8.25	12	54	41	17	5.50	27	43	39	19	7.75	39	44	40	14	5.50
3	52	43	26	7.50	14	52	42	29	9.25	26	45	43	32	9.50	40	45	42	25	7.25
1	52	45	26	7.50	13	55	46	21	6.75						41	45	42	20	6.00
6	72	59	47	10.25	16	65	57	39	10.50	28	65	60	46	9.75	42	62	59	34	7.25
5	72	61	63	10.50	15	68	59	38	9.75	29	65	61	46	9.75	43	63	60	32	8.50
4	75	64	58	11.00															
8	94	79	77	12.00	17	88	78	60	10.00	30	86	78	74	12.00	44	85	77	53	8.75
7	93	80	67	11.50	18	88	82	69	11.50	31	87	78	80	13.25	45	87	80	57	9.00
9	118	99	117	14.50	19	105	99	96	13.50	32	109	100	103	15.75	47	104	95	84	11.00
11	118	100	119	14.00	20	105	100	94	13.50	33	109	100	129	16.75	48	108	102	93	11.50
10	118	101	119	14.50											46	105	103	87	10.50
23	138	120	175	18.75	21	125	118	127	14.00	37	-	118	176	19.00	50	128	115	132	13.25
25	135	120	174	18.00	22	130	126	150	14.00	35	-	120	170	19.75	49	122	117	129	13.75
24	138	122	165	17.25						36	-	120	177	19.75	51	129	120	141	14.50
										34	-	124	185	19.25					

38^{II} - 103 68 8.75

Märkä tienpinta

Renault					Volkswagen					Anglia					Fiat				
N:o	V _a km/h	V _t km/h	L _f m	T _{min} 100	N:o	V _a km/h	V _t km/h	L _f m	T _{min} 100	N:o	V _a km/h	V _t km/h	L _f m	T _{min} 100	N:o	V _a km/h	V _t km/h	L _f m	T _{min} 100
76	50	39	23	8.25	84	45	36	14	-	52	44	40	22	6.75	63	44	39	15	4.75
75	51	41	25	7.50	85	49	40	18	6.75	53	44	41	23	7.00	64	45	41	16	5.00
					86	52	43	21	6.50	54	44	41	25	7.75	65	45	41	16	5.00
															62	45	42	15	5.00
77	-	57	40	8.50	88	65	56	24	7.00	55	66	60	46	10.25	68	62	58	27	6.25
78	70	57	42	8.75	87	67	58	24	7.00	57	66	60	50	9.75	66	63	61	30	5.75
79	76	65	51	9.75	97	68	60	42	8.75	56	66	61	39	8.75	67	64	62	32	6.75
					89	69	61	35	7.75										
81	94	78	65	10.50	91	88	78	45	8.00	59	86	76	80	12.50	69	84	72	51	8.75
80	95	80	80	11.75	90	89	82	56	10.25	58	86	78	75	12.75	70	87	79	56	9.25
					92	89	83	54	8.00						71	88	79	56	9.25
83	118	100	96	11.75	93	103	96	58	8.50	60	109	100	116	15.50	72	104	94	76	10.25
82	118	101	105	13.50	95	103	96	102	12.75	61	110	102	132	16.00	73	108	101	84	10.25
					94	106	98	66	9.25						74	110	103	88	10.75
					96	106	100	103	12.00										

98^{II} 90 77 20½ 4.50

N:o = jarrutuksen tunnusnumero

V_a = nopeus ennen jarrutusta ajoneuvon nopeusmittarin mukaanV_t = -"- -"- -"- tutkallaL_f = jarrutuksen pituus

T = -"- kesto aika

II = erittäin voimakas jarrutus

Ajoneuvon kallistuman määrittäminen: Pituussuuntaisen kallistuman määrittämiseksi filmattiin ajoneuvo jarrutuksen aikana sivultapäin. Filmaus suoritettiin TKK:n omistamalla 8 mm:n filmikameralla (käyttäjänä yo. Ole Bärnlund). Ajoneuvon kylkeen kiinnitettiin leveä telppi siten, että ajoneuvon ollessa mittauskunnossa paikallaan oli telppi tienpintaan nähden vaakasuorassa. Kameralla otettiin kuvia 0,5 sek. välein.

Tulokset: Taulukossa 2 on esitetty kokeista saadut numeeriset tulokset. Lisäksi on olemassa lähes jokaisesta jarrutuksesta jarrutushidastuvuus- ja poljinvoimadiagrammit sekä filmi.

Taulukon 2 tulokset on esitetty kuvassa 6. Kuvaan on piirretty tuloksia keskimäärin kuvaava käyrä (L_{keskim}) sekä käyrä, jonka yläpuolelle jää n. 15% kaikista havainnoista (L_{85}).

Kuvissa 7...10 on esitetty kokeiden jarrutushidastuvuusikäyrät siten piirrettyinä, että kunkin auton käyrät ovat samassa kuvassa. Käyrät on asetettu päällekkäin siten, että pysähtymistä vastaavat ajankohdat ovat kohdakkain. Näin ollen voidaan vertailla keskenään hidastuvuuksia vastaavina ajankohtina ennen pysähtymistä.

Ajoneuvon pituussuuntaista kallistumista esittävää filmiä tarkasteltaessa todettiin, että filmin luettavuus oli paikoitellen niin huono, että kallistuman arvoista ei ollut mahdollista saada jatku-

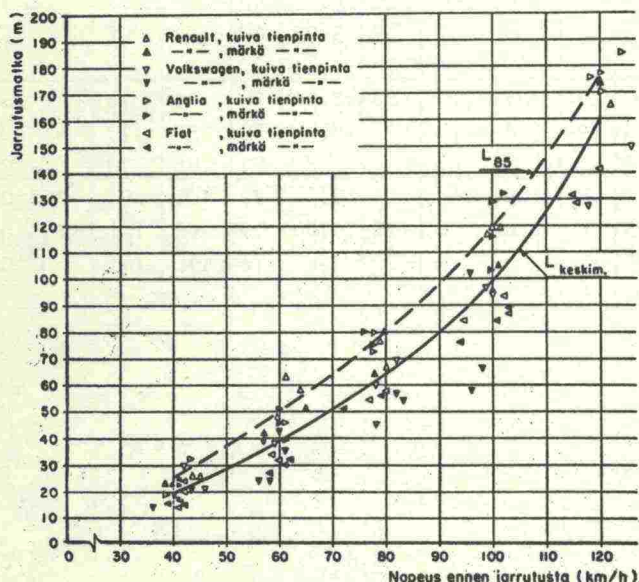
vaa esitystä. Kuitenkin voitiin todeta, että kallistuma oli suurimmillaan n. 3...4%. Tämä merkitsee hidastuvuuden arvoissa n. 0,3...0,4 m/s² virhettä, jolla määrällä enintään siis diagrammikäyrien arvoja olisi piennettävä. Joka tapauksessa käyrät antavat hidastuvuuden suuruusluokan (voidaan verrata eri käyriä keskenään) ja tasaisuuden (onko hidastuvuus kasvava, pienenevä vai likimain vakio).

Kuvassa 11 on nähtävissä kunkin ajoneuvon keskimääräinen hidastuvuus ja kitkakerroin eri nopeuksilla. Arvot on laskettu jarrutusmatkan ja nopeuden perusteella käyttäen kaavoja (9) ja (2).

Tulosten tarkastelua: Kokeen järjestelyillä pyrittiin määrittämään jarrutusmatka L_f . Reaktioaika ei ole mukana pysähtymiseen tarvittavassa matkassa. Näin ollen voidaan vertailusuureksi ottaa kitkakerroin. Kuvassa 12 on esitetty eräissä maissa käytetyt kitkakertoimen arvot sekä näistä jarrutuskokeista saatu keskimääräinen käyrä. Nähdään, että jarrutuskokeista saatu käyrä on hieman yllättävä muodoltaan. Kitkakertoimen arvo kasvaa nopeuden kasvaessa nopeuteen 100 km/h saakka ja pienenee sen jälkeen. Tämä näkyy selvästi myöskin kuvien 7...10 diagrammeista. Nopeuden ja jarrutusmatkan kasvaessa on käytetty hidastuvuus ja kitkakerroin aivan yleisesti kasvanut. Kuvasta 11 nähdään, että tämä ilmiö on havaittavissa kaikilla ajoneuvoilla, joten kysymyksessä ei voi olla sattuma.

Kuvassa 11 vaihtelee käyrien taso eri ajoneuvoilla. Ajoneuvojen kuljettajat ovat siis arvioineet hidastuvuuden asteen eri tavoin. Käyrien muoto on kuitenkin pääpiirteissään sama.

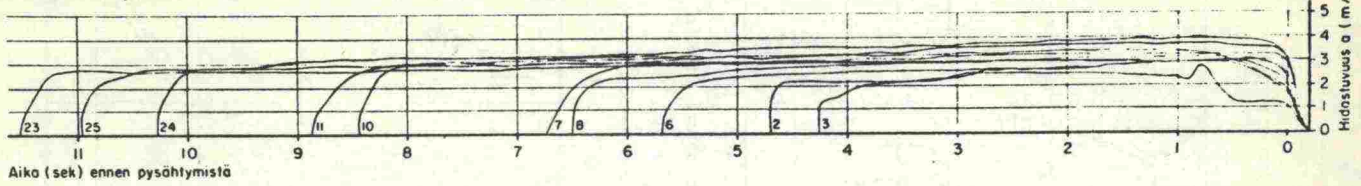
Jarrutuskokeissa on käytetty kitkakerroin ollut nopeuksilla 100...120 km/h varsin korkea. Kokeissa olivat olosuhteet jarrutuksia ajatellen lähes ihanteelliset. Useiden perättäisten jarrutusten ansiosta on tottuminen mahdollisesti vaikuttanut tuloksiin. Määrällä tienpinnalla suoritettiin havainnot käytännöllisistä syistä kuivan kelin havaintojen jälkeen. Koetuloksista ei ole havaittavissa mitään pidennystä jarrutusmatkoissa määrän tienpinnan vuoksi, pikemminkin päinvastoin (kuva 6). Näin ollen voidaan olettaa, että jarrutuksiin tottuminen on päässyt vaikuttamaan tuloksiin. Tämän vaikutuksen suu-



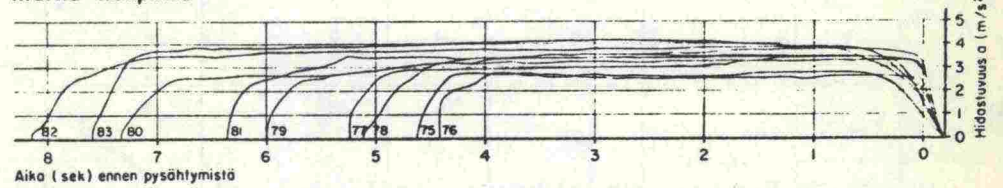
Kuva 6 Jarrutusmatkan riippuvuus nopeudesta

Kuiva tienpinta

Renault

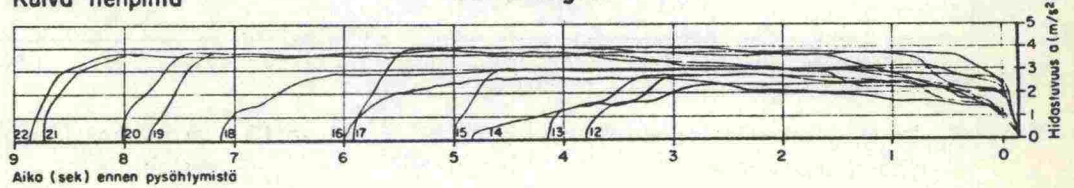


Märkä tienpinta

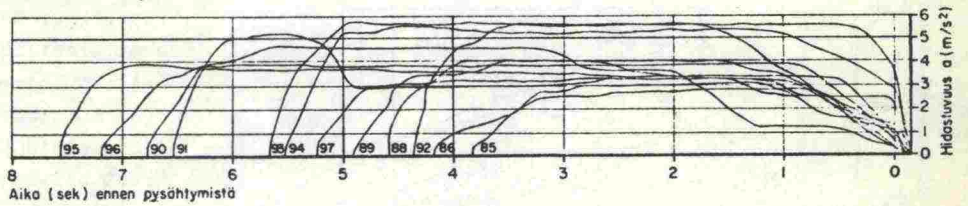


Kuiva tienpinta

Volkswagen

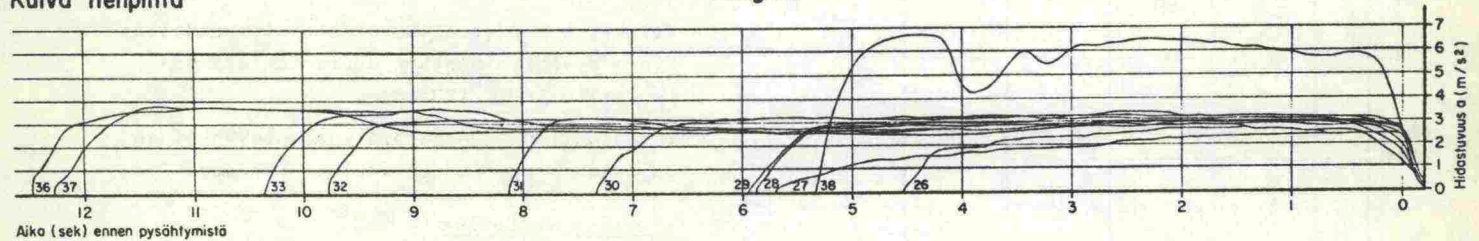


Märkä tienpinta

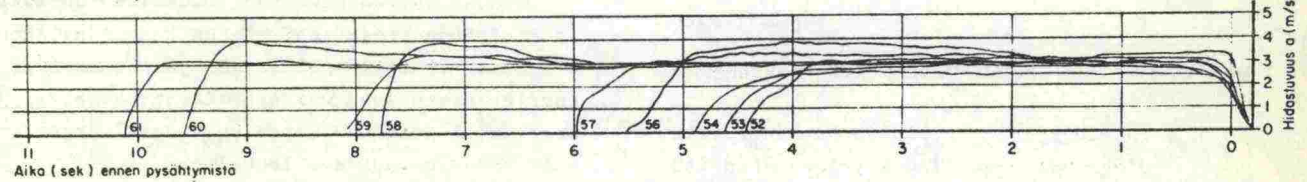


Kuiva tienpinta

Anglia

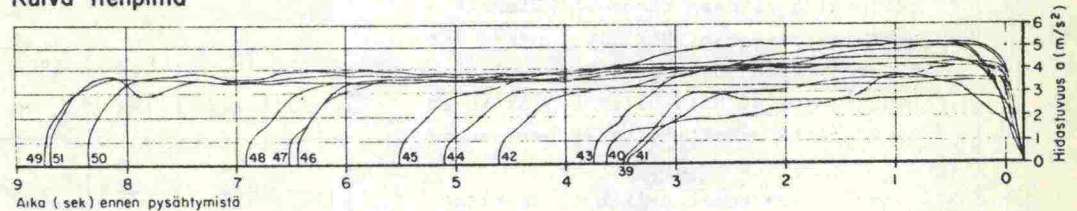


Märkä tienpinta

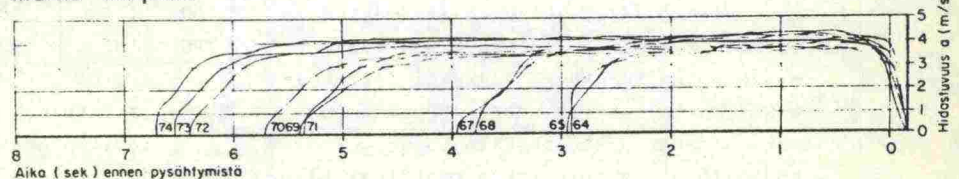


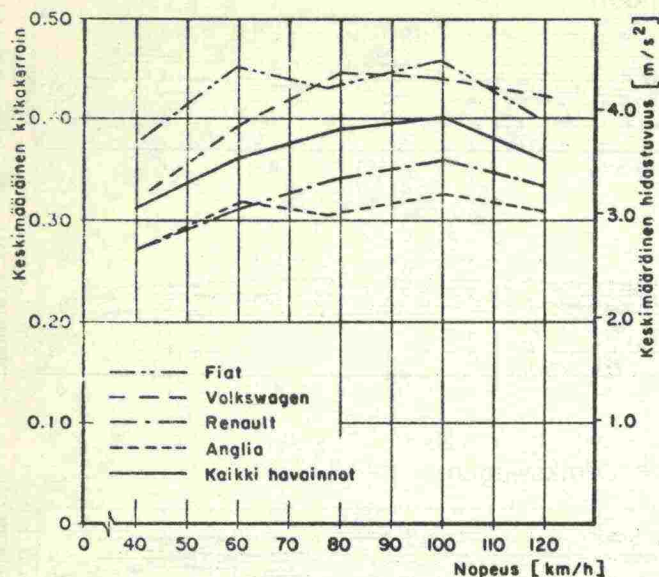
Kuiva tienpinta

Fiat

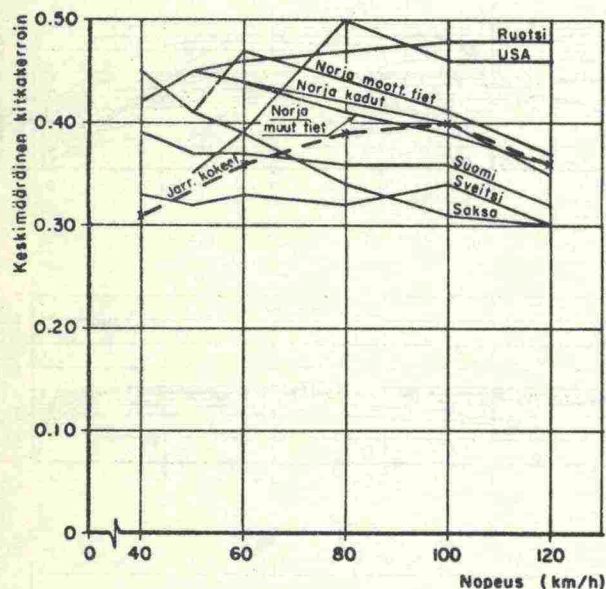


Märkä tienpinta





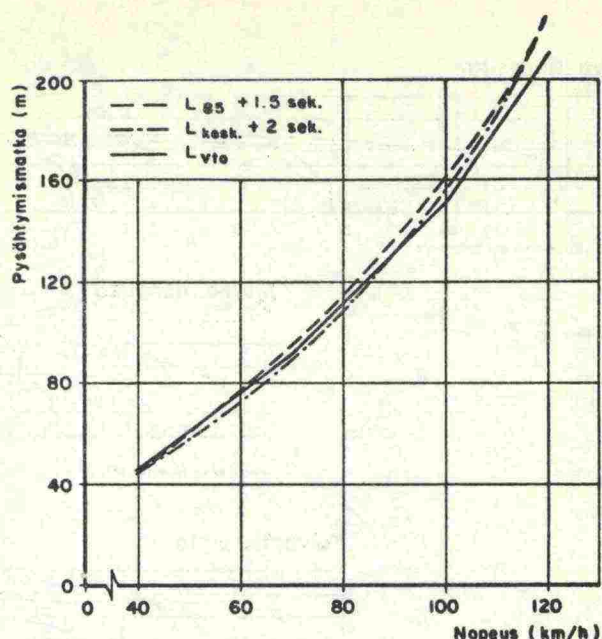
Kuva 11 Jarrutusmatkoista lasketut kitkakerroin- ja hidastuvuusarvot



Kuva 12 Kitkakerroin eri maiden suunnitteluohjeissa

ruutta voidaan arvioida kuvien 7...10 diagrammien avulla. Käyrien alkupäitä (n. sek. jarrutuksen alkamisesta) vertailemalla voidaan tämän vaikutuksen arvioida olevan n. 0,3...0,6 m/s². Kitkakertoimessa tämä merkitsee n. 0,03...0,06 muutosta. Näin ollen tulisi kuvan 11 käyrästä pääpiirteissään vaakasuora.

Johtopäätökset: Koska reaktioaikaa ei kokeissa ole voitu määrittää, jää kokonaisuhyökkymismatkan osoittaminen olettamusten varaan. Kuvassa 13 on näkyvissä Vto:n pysähtymisnäkemäkäyrä ja kaksi jarrutuskokeiden tuloksista saatua käyrää. Toinen on saatu koetuloksista L_{keskim} liisäämällä siihen oletettua reaktioaikaa 2 sek. vastaava matka. Toinen on saatu



Kuva 13 Jarrutuskokeiden tulosten ja Vto:n vertailu

vastaavasti 1.5 sekunnin reaktioajalla käyrästä L_{g5} . Nähdään, että kaikki kolme käyrää ovat pienillä nopeuksilla likimain yhdessä mutta suurimmilla nopeuksilla Vto:n arvot ovat muita pienempiä. Jos vielä otetaan huomioon, että kokeissa todetut kitkakertoimen arvot olivat suuremmilla nopeuksilla suhteellisen korkeita, olisi pysähtymismatkan ero vieläkin suurempi.

Tuloksien perusteella voidaan siis ehdottaa Vto:n pysähtymismatkan suurentamista nopeuksilla 100...120 km/h.

Tuusulantien ja Alastaron jarrutuskokeiden tulosten vertailu suoritetaan kohdassa 2.3.

2.3 Tuloksien vertailua

Tuusulantien kokeiden tuloksissa on mukana jonkinlainen "reaktioaika" kun taas Alastaron kokeissa mitattiin pelkästään jarrutusmatka. Käyrien erotuksena voidaan määrittää matka, joka nopeudella jaettuna antaa ko. "reaktioajan". Näin saadaan seuraava laskelma:

Taulukko 3

NOPEUS (KM/H)	L_I (M)	L_{II} (M)	EROTUS (M)	"REAKTIOAIKA" (SEK)
40	33	20	13	1.2
60	57	39	18	1.1
80	88	64	24	1.1
100	128	98	30	1.1
120	197	159	38	1.1

L_I = jarrutuksen keskimääräinen pituus Tuusulantien kokeissa

L_{II} = jarrutuksen keskimääräinen pituus Alastaron kokeissa

On oletettavissa, että tällaisessa järjestetyssä kokeessa reaktioaika on lyhyempi kuin todellisessa liikennetilanteessa. Kokeet näyttäisivät kuitenkin osoittavan, että reaktioaika on nopeudesta riippumaton.

On esitetty mielipiteitä, joiden mukaan reaktioaika olisi suurin pienillä nopeuksilla. Jos tien geometria on sellainen, että sen ohjenopeus on esim. 40/km/h, ei liene perusteltua väittää, että reaktioaika tällä nopeudella ajavan ajoneuvon kuljettajalla olisi sen suurempi kuin tapauksessa, jossa tien ohjenopeus ja ajoneuvon ajonopeus ovat 120 km/h. Näissä kokeissahan saatiin "reaktioaika" nopeudesta riippumattomaksi, vaikka tien geometria oli eri nopeuksilla ajatessa sama.

Jos reaktioajaksi valitaan esim. 1,5 sek. ja lähtökohdaksi jarrutusmatka L_{85} , saadaan pysähtymismatka kuvassa 13 esitetyistä käyrästä. Tällöin on kuitenkin käytetty kitka pienillä nopeuksilla suhteellisen pieni ja suurilla nopeuksilla suhteellisen suuri, joten käyrän suunta saattaisi olla vieläkin jyrkemmin nouseva.

3. VTO:N PYSÄHTYMISMATKAN TARKISTAMINEN

3.1 Reaktioaika eri maissa ja näissä kokeissa

Eräiden maiden suunnitteluohjeissa ja normeissa on käytetty seuraavia reaktioaikoja:

Taulukko 4 Reaktioajat eri maiden ohjeissa

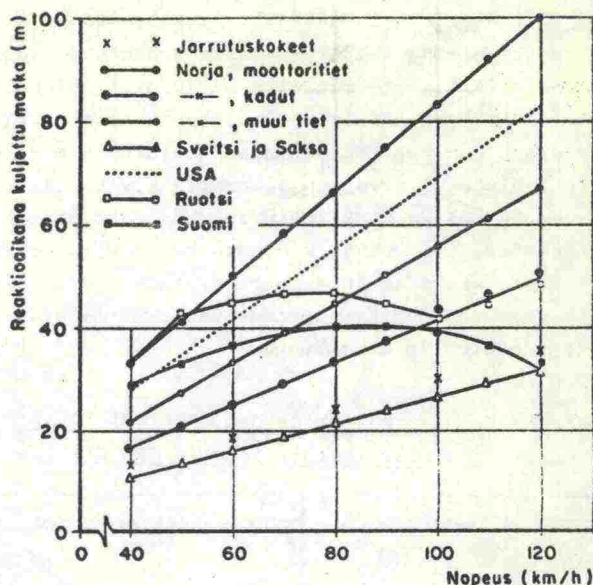
NOPEUS (KM/H)	REAKTIOAIKA (SEK)							
	SUOMI	RUOTSI	NORJA			SAKSA	SVEITSI	USA
			MOOTT.TIE	KADUT	MUUT TIET			
40	2,6	3,0	3	1,5	2	1	1	2,5
60	2,2	2,7	3	1,5	2	1	1	2,5
80	1,8	2,1	3	1,5	2	1	1	2,5
100	1,4	1,5	3	1,5	2	1	1	2,5
120	1,0	1,5	3	1,5	2	1	1	2,5

Kuten taulukosta 4 huomataan, käyttävät Suomi ja Ruotsi reaktioaikaa, joka pienenee nopeuden kasvaessa. Muut vertailussa mukana olevat maat käyttävät nopeudesta riippumattomia reaktioaikoja.

Seuraavaan taulukkoon on laskettu metrin tarkkuudella matka, minkä ajoneuvo kulkee reaktioaikana.

Taulukko 5 Reaktioaikana kuljettu matka eri maissa

NOPEUS (KM/H)	REAKTIOAIKANA KULJETTU MATKA (M)							
	SUOMI	RUOTSI	NORJA			SAKSA JA SVEITSI	USA	
			MOOTT.TIE	KADUT	MUUT TIET			
40	29	33	33	17	22	11	28	
60	37	45	50	25	33	17	42	
80	40	47	67	33	44	22	55	
100	39	42	84	42	56	28	69	
120	33	50	100	50	67	33	83	



Kuva 14 Reaktioaikana kuljettu matka eri maissa

Taulukon 5 tulokset on piirretty kuvaan 14. Kuvasta nähdään, että Suomen ohjeiden mukaisesti reaktioaikana kuljettu matka kasvaa nopeuteen 80 km/h saakka ja pienenee nopeuden edelleen kasvaessa. Samantapainen käyrä muodostuu Ruotsin normien laskuperusteilla paitsi että yli 100 km/h nopeuksilla matka kasvaa suoraviivaisesti nopeuden kasvaessa. Muissa vertailumaissa kasvaa reaktioaikana kuljettu matka suoraviivaisesti nopeuden kasvaessa, koska reaktioaika on vakio.

Näissä kokeissa saatiin pysähtymismatkan ja jarrutusmatkan erotuksen avulla "reaktioajaksi" n. 1,1 sek. (taulukko 3). Aika on käytännön tilanteita ja suunnitteluohjeita ajatellen ilmeisesti liian pieni, mutta tulos viittaa siihen, että reaktioaika saattaisi olla nopeudesta riippumaton. Kun useimmat maat ovat nykyään omaksuneet tämän käytännön, olisi ilmeisesti perusteltua menetellä näin myös Suomessa.

Vto:n tarkistamiseksi ehdotetaan jäljempänä käytettäväksi 1,5 sekunnin reaktioaikaa kaikilla nopeuksilla.

3.2 Kitkakerron eri maissa ja näissä kokeissa

Seuraavassa on laskettu eri maiden suunnitteluohjeiden ja normien edellyttämät kitkakertoimen arvot:

Taulukko 6 Eri maiden ohjeiden mukaiset kitkakertoimen arvot

NOPEUS (KM/H)	REAKTIOAIKA (SEK)							
	SUOMI	RUOTSI	NORJA			SAKSA	SVEITSI	USA
			MOOTT.TIE	KADUT	MUUT TIET			
40	0,38	0,42	-	-	-	0,45	0,33	-
50	0,37	0,45	0,41	0,45	0,45	0,41	0,32	0,35
60	0,37	0,46	0,47	0,44	0,44	0,39	0,33	0,39
80	0,36	0,47	0,44	0,42	0,41	0,34	0,32	0,50
100	0,36	0,48	0,41	0,40	0,39	0,31	0,34	0,46
120	0,32	0,48	0,37	0,35	0,36	0,30	0,30	0,46

Kitkakerroin on laskettu pysähtymisnäkemän ja reaktioaikana kuljetun matkan erotuksen avulla kaavasta (9). Kertoimet siis osoittavat, minkälaiset vaatimukset keskimääräiselle kitkakertoimelle asetetaan kun reaktioajat ovat taulukon 4 mukaiset. Taulukon 6 arvot on piirretty kuvaan 12. Kuvasta nähdään, että kitkakertoimen arvot pienenevät suhteellisen vähän nopeuden kasvaessa, eräissä tapauksissa ne jopa suurenevatkkin.

Jarrutuskokeista saadaan keskimääräiselle kitkakertoimelle arvot:

Taulukko 7 Jarrutuskokeiden mukaiset keskimääräiset kitkakertoimen arvot

NOPEUS (KM/H)	JARRUTUSMATKA (M)	KESKIM. KITKAKERROIN
40	20	0.31
60	39	0.36
80	64	0.39
100	98	0.40
120	159	0.36

Nämä tulokset on merkitty myöskin kuvaan 12.

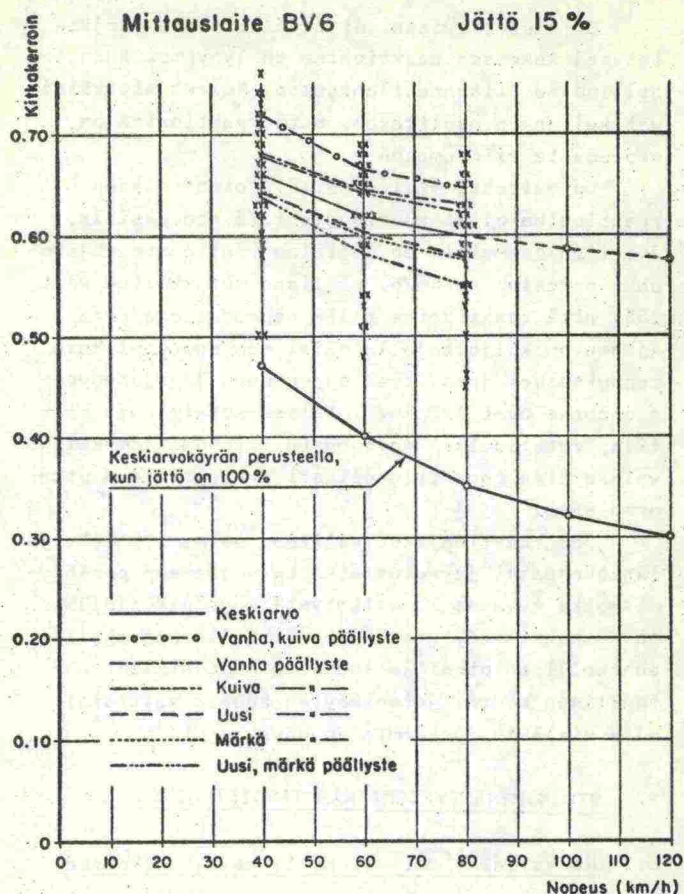
Taulukossa 8 on esitetty eräitä Suomessa suoritettuja kitkamittaustuloksia. Kitkakertoimen arvot on ryhmitelty erikseen uudella ja vanhalla päällysteellä. Kummassakin ryhmässä on jaoteltu erikseen kuivalla ja märällä päällysteellä eri nopeuksilla saavutetut kitkakertoimien arvot. Taulukkosivun alaosaan on laskettu erikseen eri nopeuksia vastaavat keskiarvot eri päällysteolosuhteissa ja kaikkien havaintojen keskiarvot. Tulokset on piirretty kuvaan 15.

Kuvasta nähdään, että sateen kitkakerrointa alentava vaikutus on samaa suuruusluokkaa kuin päällysteen iän. Epäedullisin tapaus on silloin kun päällyste on uusi ja märkä. Puutteena mittauksissa voidaan pitää sitä, että tuloksia ei ole yli 80 km/h nopeuksista.

Koska jättö on tutkimuksissa ollut 15 %, on kuvään pyritty konstruoimaan 100 %:n jättöä (pyörät ovat lukkiutuneet) vastaava käyrä. Tällöin on käytetty saksalaisten tutkimusten tuloksia (kuva 3). Yli 80 km/h nopeuksilla on keskiarvokäyrän kulku kuvassa 15 jouduttu arvioimaan, samoin jätön vaikutus kuvassa 3.

3.3 Ehdotus pysähtymismatkaksi

Pysähtymismatkan mitoittamisessa voidaan käyttää apuna kuvan 16 esittämää piirrosta. Siinä on laskettu valmiiksi eri kitkakertoimia vastaavat jarrutusmatkat L_f (abskissa-akselin yläpuolella) ja reaktioaikana kuljettu matka L_r (abskissa-akselin alapuolella). Probleemana on löytää eri nopeuksille sellaiset $(L_f + L_r)$ - ar-



Kuva 15 Kitkamittauskokeet 10.8. - 17.9.1965

vat, että mitoitus toimii mahdollisimman riskittömästi erilaisissa liikennetilanteissa. Todellisuudessa ajoneuvon kuljettaja pystyy harvoin käyttämään hyväkseen enimmäiskitka-arvoa, joka saavutetaan 17-20 %:n luistolla. Kuljettajien joukossa on paljon sellaisia, jotka vaarallisessa tilanteessa käyttävät niin voimakasta jarrutusta, että pyörät lukkiutuvat (100 %:n jättö). Tämä olisikin valittava suunnittelun lähtökohdaksi.

Koska reaktioaika saattaa vaihdella eri kuljettajilla ja eri tilanteissa, olisi mitoituksen oltava sellainen, että reaktioajan kasvu ei aiheuta kohtuuttomia vaatimuksia kitkakertoimen suhteen.

- Edellä esitetyistä syistä on valittu mitoituksen lähtökohdaksi seuraavat arvot:
- reaktioaika 1.5 sek (nopeudesta riippumaton)
- kitkakerroin 0.35 nopeudella 40 km/h
0.30 -"- 120 -"-
väliarvot suoraviivaisesti.

Kuvassa 17 on tutkittu, kuinka suuret vaatimukset kitkakertoimelle on asetettava, jos halutaan pysäyttää samanpituisella matkalla ja reaktioaika vaihtelee. Nähdään, että vielä 2 sekunnin reaktioajalla on hyvissä olosuhteissa mahdollista pysäyttää ehdotetun mitoituksen edellyttämällä matkalla.

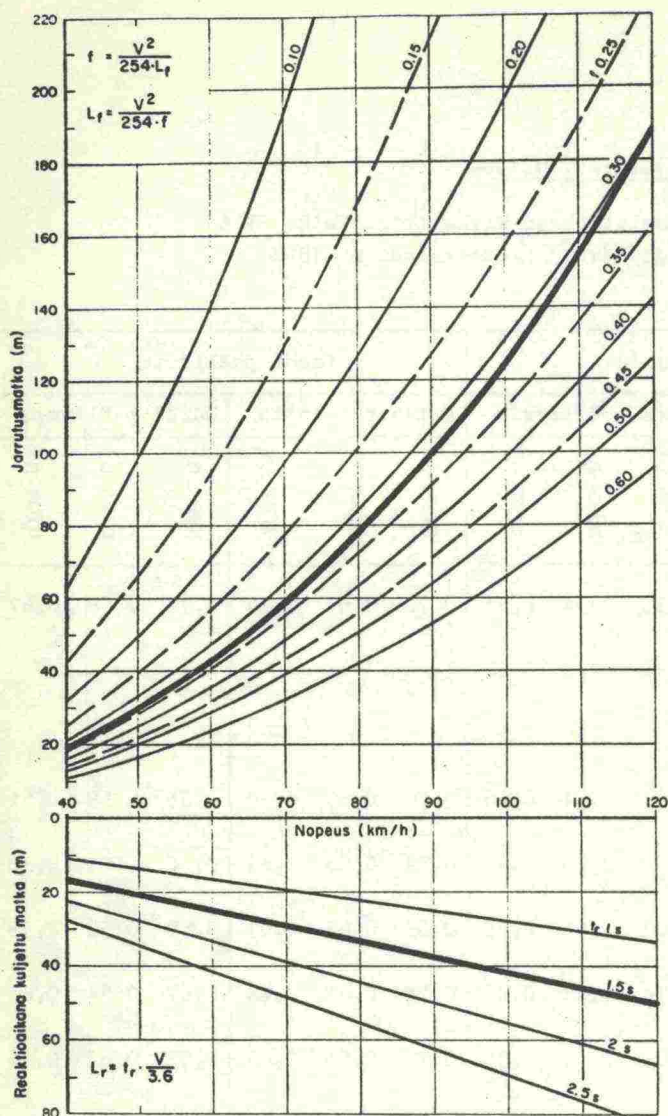
Taulukko 8 Kitkamittauskoheet 10.8.-17.9.1965

Koje: Ruotsin Tutkimuslaitoksen kitkamittauslaite BV 6.
Mittauspyörän jättämä jarrutettaessa n. 15 %

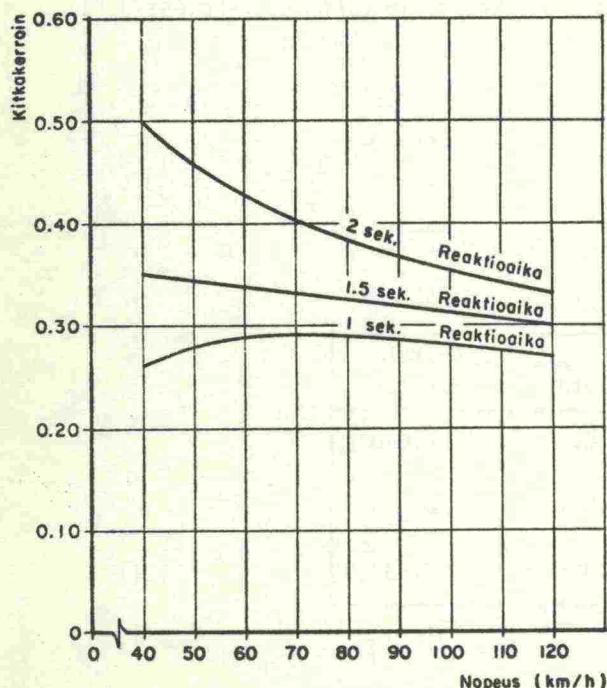
	Uusi päällyste						Vanha päällyste					
	Kuiva päällyste			Märkä päällyste			Kuiva päällyste			Märkä päällyste		
	40 km/h	60 km/h	80 km/h	40 km/h	60 km/h	80 km/h	40 km/h	60 km/h	80 km/h	40 km/h	60 km/h	80 km/h
Topeka (Top 70).....	0,63	0,62	0,62	0,58	0,54	0,54	0,70	0,65	0,61	0,72	0,68	0,67
Karkeutettu topeka kar- keutussepeli 2-5 mm...	0,63	0,62	0,58	0,65	0,62	0,58	-	-	-	-	-	-
Karkeutettu topeka kar- keutussepeli 12-18 mm	0,67	0,65	0,63	0,68	0,65	0,55	-	-	-	-	-	-
Asfalttibetoni Ab 12/70	0,64	0,62	0,61	0,66	0,51	0,46	0,76	0,67	0,68	0,65	0,59	0,61
Asfalttibetoni Ab 18/100	0,71	0,69	0,65	0,69	0,64	0,57	0,72	0,66	0,62	0,66	0,61	0,58
Sora-asfalttibetoni SAb-18/120.....	0,62	0,60	0,59	0,62	0,53	0,53	0,69	0,65	0,63	0,59	0,59	0,59
Kantavan kerroksen bi- tumisora Bsk 30/150...	0,74	0,67	0,66	0,74	0,68	0,65	0,71	0,69	0,68	0,67	0,64	0,63
Öljysora Ös 18/100.....	0,70	0,67	0,66	0,60	0,54	0,55	0,73	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61
Savisora.....	0,50	0,48	0,45	0,50	0,51	0,59	-	-	-	-	-	-
Σ	5,84	5,62	5,45	5,72	5,22	4,93	4,31	3,98	3,87	3,92	3,73	3,69
Keskiarvo	0,649	0,624	0,606	0,636	0,580	0,548	0,718	0,663	0,645	0,653	0,622	0,615

Kitkakertoimen keskiarvot eri nopeuksilla:

Nopeus km/h	Päällyste				Kaikki havainnot
	Uusi	Vanha	Kuiva	Märkä	
40	0,642	0,682	0,677	0,643	0,660
60	0,602	0,643	0,640	0,597	0,618
80	0,577	0,630	0,621	0,575	0,598



Kuva 16 Eri kitkakertoimia vastaavat jarrutusmatkat



Kuva 17 Kitkakertoimelle asetettavat vaatimukset, kun reaktioaika vaihtelee 1-2 sek.

Seuraavassa on esitetty laskelmat nykyisen ja ehdotetun Vto:n pysähtymismatkam määrittämiseksi:

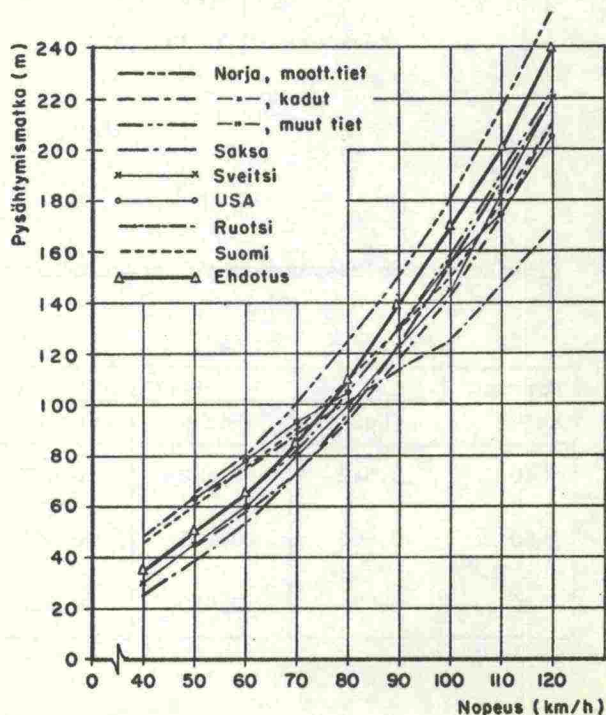
Taulukko 9. VTO:N PYSÄHTYISMATKA (NYKYINEN)

NOPEUS	t_r	f	L_r	L_f	L	L_{Vto}
40	2.6	0.41	28.8	15.4	44.2	45
50	2.4	0.395	33.3	24.9	58.2	60
60	2.2	0.38	36.6	37.3	73.9	75
70	2.0	0.37	38.8	52.0	90.8	90
80	1.8	0.36	40.0	70.1	110.1	110
90	1.6	0.345	40.0	92.5	132.5	130
100	1.4	0.33	38.9	119.0	157.9	150
110	1.2	0.315	36.7	151.0	187.7	180
120	1.0	0.30	33.3	188.0	221.3	210

Taulukko 10. EHDOTUS VTO:N PYSÄHTYISMATKAKSI

NOPEUS	t_r	f	L_r	L_f	L	EHDOTUS
40	1.5	0.350	16.7	18.0	34.7	35
50	1.5	0.344	20.8	28.6	49.4	50
60	1.5	0.337	25.1	42.1	67.2	65
70	1.5	0.331	29.2	58.2	87.4	85
80	1.5	0.325	33.3	77.5	110.8	110
90	1.5	0.319	37.6	100.0	137.6	140
100	1.5	0.313	41.7	125.8	167.5	170
110	1.5	0.306	45.9	155.0	200.9	200
120	1.5	0.300	50.1	189.0	239.1	240

Kuvassa 18 on verrattu ehdotettua pysähtymismatkaa eräiden muiden maiden ohjeisiin.



Kuva 18 Ehdotetun pysähtymismatkan vertailu eri maiden ohjeisiin

A5. HENKILÖAUTON KULJETTAJAN SILMÄKORKEUS

(DRIVER EYE HEIGHT)

OLLI-PEKKA HARTIKAINEN

SISÄLLYSLUETTELO

CONTENTS

1.	JOHDANTO	5
1.1	Yleistä	5
1.2	Aikaisemmat normit ulkomailla ja Suomessa	6
2.	SUORITETUT MITTAUKSET	7
2.1	Ajoneuvojen valokuvaus	7
2.2	Kuvilta suoritettut mittaukset	8
2.3	Laskelmat ja tulokset	9
3.	TUTKIMUKSEN TARKASTELU	13
3.1	Tulokset	13
3.2	Suositus ja sen vaikutus tiensuunnitteluun	15
4.	YHTEENVETO	16
5.	SUMMARY	18
	KUVAT 1 - 11 FIGURES 1 - 11	20 - 26
	KIRJALLISUUSLUETTELO REFERENCES	27

HENKILÖAUTON KULJETTAJAN SILMÄNKORKEUS

1. JOHDANTO

1.1. Yleistä

Tiensuunnittelussa autoilijan silmäncorkeus muodostaa erään läh-töarvon näkemien määrittämisessä ja kaarteiden sekä nimenomaan pystysuorien taitteiden mitoittamisessa. Asia on liikenteen vil-kastuessa muodostunut entistä tärkeämmäksi, koska silmäncorkeu-della on huomattava vaikutus näkyvyyden kautta liikenneturvalli-suuteen erikoisesti kaksikaistaisilla teillä.

Nykyinen makusuunta vaatii ajoneuvoilta entistä parempia ajo-ominaisuuksia ja virtaviivaista ulkonäköä. Tästä on ollut seu-rauksena henkilöautojen muuttuminen vuosi vuodelta matalammiksi. Samalla on istuimen korkeus ajorataan nähden pienentynyt, mikä on vaikuttanut autoilijan silmäncorkeuteen alentavasti. Vastak-kaiseen suuntaan on ollut vaikuttamassa hyvinvointivaltioiden kansalaisten ja siis myös autoilijoiden keskimittan suureneminen.

Koska autokanta on sekä pysyneeikin eri maissa jonkin verran eri-laisena ja myös ajajiin liittyy erilaisia rodullisia ja kansal-lisia ominaisuuksia, päätettiin autoilijan silmäncorkeutta tut-kia nimenomaan Suomen olosuhteissa uusia tiensuunnittelunormeja silmälläpitäen. Tutkimuksessa on keskitytty nimenomaan henkilö-auton kuljettajan silmäncorkeuden määrittämiseen ja samalla on jossain määrin kosketeltu tuloksiin vaikuttavia syitä. Muihin kuin henkilöautoihin ei ole kiinnitetty lainkaan huomiota, koska k.o. autot ovat yleensä korkeita, niillä on usein ajoneuvokoh-taisia nopeusrajoituksia ja suuret silmäncorkeudet vaikuttavat ratkaisevasti tienmitoitukseen ainoastaan poikkeustapauksissa, tietä koverassa taitteessa ylittävien siltojen kohdalla jne.

1.2. A i k a i s e m m a t n o r m i t u l k o m a i l l a j a S u o m e s s a

Tutkimuksen ensimmäisenä vaiheena selvitettiin muutamien maiden tiensuunnittelunormien sisältämät määräykset näkemien määrittämisestä ja erikoisesti henkilöauton kuljettajan silmänseläkorkeuden ohjeista. Yhteenvedo asiasta esitetään lyhyesti seuraavassa:

S a k s a s s a pysähtymisnäkemä määritetään nykyisin RAL-L:n [9] mukaisesti olettamalla silmänseläkorkeudeksi 120 cm ja esteen korkeudeksi 0 cm. Kohtaamisnäkemää laskettaessa esteen (vastaantulen auton) korkeus oletetaan myös 120 cm:ksi, jolloin tulos on $2 \times$ pysähtymisnäkemä. Mainittakoon, että silmänseläkorkeus on määritetty 120 cm:ksi jo vuonna 1937, josta alkaen mitta on säilynyt muuttumattomana. Edelleen on tässä yhteydessä mainittava, että Saksassa on kyllä havaittu uudelleen määrittämisen tarve ja vakavasti harkittu silmänseläkorkeuden alentamista jopa tasan 100 cm:iin [5].

U S A:ssa laskelmissa käytettävää autoilijan silmänseläkorkeutta alennettiin vuonna 1965 137 cm:stä (4,5 jalkaa) 115 cm:iin (3,75 jalkaa). Kuitenkin samalla havaittavaksi vaaditun esteen korkeus pysähtymisnäkemää laskettaessa on nostettu 10 cm:stä (4 tuumaa) 15 cm:iin (6 tuumaa). Kohtaamis- ja ohitusnäkemää laskettaessa ajoneuvon kokonaiskorkeudeksi oletetaan 137 cm (4,5 jalkaa) kuten aikaisemminkin [8]. USA:ssakin on tosin jo aikaa sitten pidetty mahdollisena autoilijan silmänseläkorkeuden keskiarvon alenemista 107 cm:iin (42 tuumaa) saakka [6]. Eräs tutkija sanoo leikkillisesti vieläpä seuraavasti: "Jos autoilijan silmänseläkorkeuden suuruus ekstrapoloitaisiin vuodesta 1937 lähtien mitatuista arvoista, niin vuonna 2000 silmä raapisi tien pintaa" [10].

E n g l a n n i s s a on mitoitusnormeja muutettu metrijärjestelmään siirtymisen yhteydessä aivan äskettäin ja niissä autoilijan silmänseläkorkeudeksi sekä myös ajoneuvon korkeudeksi otaksutaan 105 cm [11].

S v e i t s i s s ä sekä autoilijan silmänseläkorkeudeksi että ajoneuvon korkeudeksi otaksutaan 110 cm [13].

R u o t s i s s a silmäkorkeus on 120 cm, esteen korkeus poikkeuksellista pysähtymisnäkemää laskettaessa 20 cm ja auton korkeus kohtaamisnäkemää määritettäessä 140 cm. Normaali pysähtymisnäkemä lasketaan esteen korkeuden ollessa 0 cm [7].

S u o m e s s a noudatetaan toistaiseksi saksalaista RAL-L:n mukaista mitoitustapaa, paitsi pysähtymisnäkemää laskettaessa esteen korkeutena pidetään 10 cm. Nämä määräykset on annettu valtioneuvoston päätöksellä [12], joka on vuodelta 1962.

2. SUORITETUT MITTAUKSET

2.1. A j o n e u v o j e n v a l o k u v a u s

Autoilijan tämänhetkisen todellisen silmäkorkeuden määrittämistä ja Suomessa voimassaolevien määräysten mahdollisen tarkistamistarpeen toteamista varten suoritettiin kaksi ajoneuvojen valokuvausta. Ensimmäinen tapahtui 8 päivänä lokakuuta 1968 kello 9 - 15 välisenä aikana Munkkiniemi - Otaniemi välisellä paikallistiellä Lehtisaaren ostoskeskuksen kohdalla, josta Helsingin keskustaan on noin 7 km. Toinen valokuvaus suoritettiin 7 päivänä lokakuuta 1969 kello 7 - 14 välisenä aikana Puotilassa Helsingin kaupungin hoidossa olevalla Itäväylällä. Kuvauspaikkojen sijainti ilmenee tarkemmin kuvasta 1. Edellisessä kohteessa kuvattiin kaupungista poispäin menevää liikennettä ja jälkimmäisessä liikenteen suunta oli kaupunkiin päin.

Mittauspaikalle asetettiin kummassakin tapauksessa samaan tasoon 3 kpl vaaituslattoja, joitten perusteella kuvilta saatettiin suorittaa kaikki tarvittavat mittaukset silmäkorkeuksien laske-
miseksi. Korkeuskiintopisteenä pidettiin etummaisena latan alapäätä. Tähän nähden korkeuteen + 120 cm asetettiin kaikkiin lattoihin korkeusmerkit. Kamera oli molemmissa tapauksissa teleobjektiivilla ($f = 250$ mm) varustettu Hasselblad (kuva 2). Se asennettiin noin 14 m päähän lähimmästä latasta pystysuoraan siten, että keskiakseli oli täsmälleen korkeusmerkkien tasossa. Tällöin korkeusmerkit muodostavat kuvilla suoran viivan ja asennusten virheellisyys on myöhemmin tarkistettavissa. Vielä on mainittava, että kuvauspaikalle asennettiin kontrastin aikaansaamiseksi taustalle sopivaan korkeuteen vaalea lastulevy (kuva 3)

ja että autojen ajosuunnassa kuvauspaikan etupuolelle asennettiin tarpeelliset liikennemerkit. Molemmissa kuvauspaikoissa oli jo ennestään nopeusrajoitus 50 km/h. Tämän lisäksi tarvittiin liikennemerkit "Tietyö varustettuna lisäkilvellä mittaus-työ", "Aja hitaasti" ja "Kapeneva tie", "Liikenteen jakaja" sekä kumikartioita ja tynnyreitä.

Kuvauksessa käytettiin 28 DIN-filmiä ja 1/500 s valotusaikaa. Kuvia otettiin filminvaihtojen jne. sallimien mahdollisuuksien mukaan kaikista ohikulkevista henkilöautoista (muutamat urheilu-autot mukaanluettuina) sekä henkilöauton tyyppisistä pakettiautoista. Suomessahan pakettiautojen ja henkilöautojen erottaminen toisistaan ei läheskään aina ole mahdollista auton etupuolelta tai sivukuvasta. Ensimmäisessä kuvauksessa ehdittiin 6 tunnin aikana saada kaikkiaan 552 kuvaa, joista mittauskelpoisia oli 470 kpl. Toisessa kuvauksessa luvut olivat 490 ja 360 kpl. Jälkimmäisen kuvauksen hieman huonompaan mittauskelpoisuuteen vaikutti osaltaan kamerassa sattunut pienehkö häiriö, joka saatiin korjatuksi varsin pian.

2.2. K u v i l t a s u o r i t e t u t m i t t a u k s e t

Jokaiselta kuvanegatiivilta (ks. kuvat 4 ja 5) mitattiin valopöydällä lasilevyllä valokuvatun mitta-asteikon ja suurennuslasin sekä läpinäkyvään muovilevyyn piirretyn suoran viivan avulla 2 suuretta millimetreinä 0,05 mm tarkkuudella. Ensimmäisen kuvauksen kuvista mitattiin suuret l_s ja l_r ja jälkimmäisen kuvauksen kuvista mitattiin vastaavasti l_s ja l_a . Suureitten selitykset ovat seuraavassa asetelmassa "tärkeysjärjestyksessä".

- l_s ajajan silmän etäisyys korkeusmerkkien (120,0 cm) tasosta (mm)
- l_a auton katon rajaviivan suurin etäisyys em. tasosta (mm)
- l_r auton lähimmän renkaan alareunan etäisyys em. tasosta (mm).

Lukemavirheiden eliminoimiseksi kukin mittaus suoritettiin kaksi kertaa ja laskelmissa käytettiin mitattujen lukemien keskiarvoa pyöristettynä lähimpään 0,05 mm:iin. Mittauksen yhteydessä merkittiin pöytäkirjaan myös kyseisen auton merkki, mikäli se oli ilman erikoistoimenpiteitä tunnistettavissa. Auton vuosimalliin ei kiinnitetty huomiota.

Kuvilta määritettiin edelleen lattojen mittakaavan perusteella kuvamittakaava jokaisen latan tasossa. Koska lattojen etäisyys kamerasta oli mitattu maastossa, voitiin näin selvittää kameraoptiikan todellinen kameravakio kuvaushetkellä. Etäisyyden tarkentamisesta johtuen kameravakio oli todellisuudessa nimittäin hiukan suurempi kuin 250 mm. Tätä lukua tarvitaan seuraavassa kohdassa olevissa kaavoissa 1 - 2 esiintyviä vakioita määritettäessä. Lopuksi lienee syytä lähinnä tulevia tutkimuksia silmäläpityksen mainita seuraavat kaksi seikkaa.

Kuvauspaikat valittiin molemmissa tapauksissa siten, että ajoradalla ei ollut pituuskaltevuutta. Poikkikaltevuus kuvauspaikalla vaahtettiin, jotta kaltevuudesta aiheutuva korjaus olisi voitu suorittaa laskelmien yhteydessä. Jälkimmäisessä kuvauksessa onnistuttiin paikka valitsemaan siten, että ajorata oli myös poikkisuunnassa vaakasuora, jolloin poikkikaltevuuskorjausta ei tarvittu. Vaakasuora tarkoittaa tässä, että tienpinnan maksimikorkeusero kuvausalueella on 1 cm. Puotilassa mitattu suurin korkeusero oli 6 mm.

2.3. L a s k e l m a t j a t u l o k s e t

Ensimmäisen kuvauksen kuvilta, joissa suojatieviivoitus oli näkyvissä, voitiin silmämääräisesti havaita, että useimmat autoilijat olivat ajaneet ainakin likimain keskeltä lattojen väliin jäänyttä noin 4 metrin suuruista vapaata tilaa (vrt. kuva 3). Tämä otettiin laskelmissa lähtökohdaksi ja lisäksi oletettiin autoilijan istuvan 35 - 40 cm auton keskiviivasta kameraan päin. VW-1300 tyyppisissä autoissa kuljettajan istuimen keskiviivan/ohjausakselin keskiviivan ja auton pituussuuntaisen keskiviivan kohtisuora välimatka on 30 cm. Ford Cortinassa sama mitta on 35 cm ja Ford Escortissa 32 cm. Eräissä suuremmissa autoissa, esim. Ford 20M:ssä ja Ford Fairlinessä vastaava mitta on molemmissa 39 cm. Edelleen kameraan tulevan auton kattoa sivuavan valonsäteiden sivuamispisteeksi otaksuttiin autoilijan istumapaikan keskiviiva.

Esitettyjen otaksumien todelliseen vaikutukseen palataan myöhemmin. Seuraavassa esitetään vain otaksumien perusteella saadut laskukaavat:

$$h_s = a_s + b_s l_s + c_s \quad (\text{cm}) \quad (1)$$

$$h_a = a_a + b_a l_a + c_a \quad (\text{cm}) \quad (2)$$

h_s ajajan silmäkorkeus tienpinnasta mitattuna

h_a auton korkeus

l_s ks edellä (mm)

l_a ks edellä (mm)

a , b ja c vakioita, jotka riippuvat kuvausolosuhteista siten, että vakioilla tässä tapauksessa oli seuraavat arvot:

a_s Lehtisaari	= 120,0	b_s Lehtisaari	= 6,10	c_s Lehtisaari	= 4,0
a_s Puotila	= 120,0	b_s Puotila	= 6,00	c_s Puotila	= 0,0
a_a Puotila	= 120,0	b_a Puotila	= 6,00	c_a Puotila	= 0,0

Kaavoista 1 - 2 laskettiin teknillisen korkeakoulun rakennusinsinööriosaston Mathatron-pienoistietokoneella ajajan silmäkorkeus (h_s) ja jälkimmäisen kuvauksen osalta myös autojen korkeus (h_a). Edellistä kuvausta koskevista tiedoista laskettiin ajajan silmäkorkeus myös toista tietä käyttäen hyväksi suuretta l_r , joka on auton lähimmän renkaan alareunan etäisyys tasosta + 120 cm. Tulokset olivat muutaman mm:n tarkkuudella samoja kuin kaavasta (1) lasketut tulokset [2]. Tietokone laski kaikissa tapauksissa myös saatujen korkeuksien keskiarvon (\bar{h}) ja keskihajonnan (s) kaavasta:

$$s = \sqrt{\frac{(h - \bar{h})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

Edelleen tietokone laski kaavassa (3) tarvittavan havaintojen lukumäärän (n) kussakin tapauksessa. Tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa:

Taulukko 1. Laskelmien tulokset (Selitykset edellä, korkeudet ovat keskiarvoja).
Tabel 1. The results of the calculations.

Rivi	Käsiteltävä autoryhmä	Lehtisaari 1968			Puotila 1969		
		h_s	s_s	n_s	h_s	s_s	n_s
1	Kaikki autot	114,0	5,98	470	117,8	6,01	360
2	Kaikki saksalaiset autot	114,7	4,20	133			
3	VW-1300 ("kupla") autot	115,2	2,62	57	118,9	3,06	36
4	Miniautot	103,9	3,31	29	104,5	3,12	14
					145,9	6,32	360
					150,7	1,39	37
					132,7	1,57	14

Kaikkien autojen kyseessä olleen saatiin keskimääräiseksi silmänkorkeudeksi Lehtisaareissa 114,0 cm ja Puotilassa 117,8 cm keskihajonnan ollessa molemmissa tapauksissa 6,0 cm.

Pienin silmänsilmänkorkeus 93,5 cm mitattiin Lehtisaareissa MG-merkkisessä urheiluautossa (kuva 6). Suurin oli vastaavasti myös Lehtisaareissa eräässä avonaisessa noin 40 vuotta vanhassa autossa 148,7 cm (kuva 7). Tällä hetkellä vielä valmistettavista yleisistä varsinaisista henkilöautomerkeistä (vrt. seuraava kappale) puheenollen korkeimmalta katsoo Moskvitsh Eliten ajaja, keskiarvo Puotilan 5 havainnosta oli 124,0 cm. Vielä korkeammalta katsoo tosin Volgan kuljettaja. Kummassakin kuvauksessa oli kuitenkin vain 2 Volgaa, joten keskiarvoilla, aikajärjestyksessä 137 cm ja 138 cm, ei ole kovin suurta luotettavuutta. Sitä paitsi Volgasta lienee tulossa markkinoille uusi malli.

Erikoisen tutkimuksen kohteeksi otettiin lisäksi kaksi autotyyppiä VW-1200/1300/1500, josta seuraavasta käytetään yleisnimitystä VW-1300 ("Kupla"), ja Miniautot (Morris 850/1000 ja Austin 850/1000). Suomessa rekisteröitiin vuonna 1969 nimittäin noin 87000 uutta henkilöautoa. Näistä oli Volkswagenia "kuplamalleja" kaikkiaan 9389 kappaletta. Toiseksi suosituin automerkki oli Ford Cortina, joita tuli rekisteriin 7283 kappaletta ja kolmannekin sijan vei Ford Escort-mallillaan ja 5330 kappaleella. Seuraaville sijoille tulivat Opel Kadett (5172 kpl), Fiat 600 (5099 kpl), Toyota Corolla (4876 kpl) ja Moskvitshin kaksi Elite-mallia (4511). Luvuista näkyy, mikä merkitys VW-1300 tyyppillä on Suomen autokannan muodostajana vielä tulevaisuudessakin [4].

Miniautot otettiin taas erikoistutkimuksen kohteeksi siksi, että autoilijan silmänsilmänkorkeus niiden ajajilla näytti olevan poikkeuksellisen pieni ja tälläkin autotyyppillä on tietty osuutensa autokannasta nyt ja tulevaisuudessa. Em. ajankohtanakin niitä rekisteröitiin 2829 kpl [4].

VW-1300 autoilijan silmän havaittiin olevan Lehtisaareissa keskimäärin korkeudella 115,2 cm ja Puotilassa korkeudessa 118,9 cm (kuva 8). Miniautojen vastaavat luvut olivat 103,9 ja 104,5 cm (kuva 9). Kaikissa tapauksissa keskihajonta oli 3 cm luokkaa eli melko tarkkaan puolet siitä hajonnasta, joka saatiin kaikkia autoja koskevista havainnoista.

Kuvattujen autojen keskimääräiseksi korkeudeksi saatiin 145,9 cm keskihajonnan ollessa 6,3 cm. Erikoisesti VW-1300 tyyppin korkeus saatiin 150,7 cm:ksi keskihajonnan ollessa 1,39 cm. VW-tehdas ilmoittaa k.o. auton korkeudeksi ilman kuormaa 150 cm. Miniautojen vastaavat luvut olivat 132,7 cm ja 1,57 cm sekä 135 cm.

Mainittakoon, että Moottori-lehden yhteenvetotilaston [3] mukaan kaikkien Suomessa tällä hetkellä myytävien henkilöautomerkkien ja mallien (341 kpl) keskikorkeus on 141,4 cm. Toisaalta on selvää, että tämä ei sellaisenaan voi edustaa kaikkien liikenteessä olevien autojen keskikorkeutta, koska eräät automerkit ja -mallit ovat hyvin harvinaisia. Mitattu 145,9 cm edustaneekin suhteellisen totuudenmukaisesti kaikkien liikenteessä olevien henkilöautojen korkeuksien keskiarvoa. Tässä yhteydessä on kuitenkin todettava, että uudet automallit saattavat olla hyvinkin matalia, esim. Ford Caprin korkeudeksi ilmoitetaan vain 127,5 cm, vaikka se ei ole edes urheiluauto. Muita matalia henkilöautoja ovat esim. Ford Mustang (130 cm), Ford Escort (134,6 cm) ja Mini-autot (135 cm). Matalimpia urheiluautoja tällä hetkellä ovat Triumph GT 6 (119,5 cm), Honda S 800 Coupe (121,5 cm), Jaguar E-type (122 cm), Opel 1900 GT (122,5 cm), MG (124-128 cm), Fiat 850 Coupe (130 cm), Mercedes 230-280 SL (130,5 cm), ja Porsche (132 cm). Nämä luvut perustuvat tehtaitten ilmoituksiin tai lähteeseen [3].

3. TUTKIMUKSEN TARKASTELU

3.1. Tulokset

Tutkimuksessa saadut tulokset osoittavat, että autoilijoiden enemmistö katsoo tietä alempaa kuin 120 cm. Kuvaan 10 on piirretty eräät frekvenssifunktioiden summakäyrät, joista on luettavissa mm. että Lehtisaaren kuvauksessa k.o. prosenttiluku on 83 % ja Puotilassa vastaavasti 65 %. Keskiarvojen ero on 3,8 cm ja kaikissa tapauksissa jälkimmäisen kuvauksen tulokset ovat suurempia hajonnan ollessa likimain saman.

Eroavuuksien syytä selvitettäessä havaittiin, että esim. VW 1300-tyypin ajajista oli Lehtisaaressa naisia 14 eli lähes 25 %, kun taas Puotilassa vastaavat luvut olivat vain 3 ja 8 %. Sekä

VW-1300 että Miniautojen osuus kaikista autoista oli Lehtisaares-
sa selvästi suurempi kuin Puotilassa. Erot johtunevat lähinnä
siitä, että jälkimmäiseen kuvaukseen kuului myös aamun ruuhka-
aika, jolloin miehet ajoivat perheen ainoalla autolla työhön,
kun taas edellisessä naiset kävivät päivän mittaan perheen toi-
sella autolla ostoksilla. Perheen toiseksi autoksi sopivat ni-
mittäin erittäin hyvin sekä VW-1300 että myös Mini. Sitä paitsi
oma osuutensa asiaan saattaa olla myös Otaniemen liikenteellä.
Puotilan kuvauksessa saatu keskiarvo on asiallisesti katsoen sa-
ma kuin DURTH:in Darmstadtissa v. 1967 mittaama 118 cm [1]. Ha-
jonta on kuitenkin Suomessa selvästi suurempi. Lehtisaaren mit-
tauksessa laskettiin myös kaikkien saksalaisten automerkkien aja-
jien keskimääräinen silmäkorkeus ja tulokseksi saatiin 114,7 cm
(Taulukko 1). Tämä ero saattaa johtua ajajien pituusvaihteluista,
joita ei kummassakaan tutkimuksessa ole lähemmin selvitetty. Oma
osuutensa voi olla myös mittauksien epätarkkuudella jommassakum-
massa tutkimuksessa.

Puotilassa suoritettun tutkimuksen suhteellisen hyvään tarkkuu-
teen viittaa myös se, että saadut autojen keskikorkeudet vastaa-
vat hyvin todellisuutta. Lehtisaaren kuvauksessa sen sijaan ei
kiinnitetty lainkaan huomiota autojen korkeuteen.

Kuvien mittaaminen suoritettiin 0,05 mm lukematarkkuudella, joka
kuvamittakaavan huomioonottaen merkitsee 3 mm luonnossa. Silmän
paikallistaminen sekä kuvalta että myös luonnossa näin suurella
tarkkuudella on kuitenkin vaikeahkoa. Jos kohdan 2.3. alussa
suoritetuissa etäisyysotaksumissa on sattunut vaikkapa 50 cm
virhe, on sen vaikutus suuren kuvausetäisyyden ja kameran kor-
keusaseman valinnan johdosta vain noin 50/1500 kaavoista (1) ja
(2) saatavasta toisesta termistä, eli korkeintaan 6 mm ja yleen-
sä paljon vähemmän. Myös vaaitukset mittauspaikalla pystytään
suorittamaan muutaman mm:n tarkkuudella. Edellisen perusteella
on todettava, että kuvaus, mittaukset ja laskelmat on suoritettu
tutkittavaan asiaan nähden riittävän tarkasti. Keskiarvot vas-
taavat todellista tilannetta ainakin 1 - 2 cm tarkkuudella, joka
käytännössä riittää mainiosti.

Lopuksi huomautettakoon vielä, että tämän tutkimuksen tarkoituksena oli nimenomaan nykyisen todellisen silmäncorkeuden määrittäminen Suomen olosuhteissa uusia tiensuunnittelunormeja silmälläpitäen. Tämä tehtävä voitaneen katsoa suoritetuksi kuitenkin niin, että tarkempi asiaan vaikuttavien syiden selvittäminen on jätetty jatkotutkimusten varaan.

3.2. Suositus ja sen vaikutus tiensuunnitteluun

Tutkimus on osoittanut, että henkilöauton kuljettajan keskimääräinen silmäncorkeus on tällä hetkellä Suomessa selvästi alle 120 cm, mikä nykyisissä normeissa otaksutaan lähtökohdaksi näkemää mitoitettaessa. Lisäksi tämän laatuissa laskelmissa, joissa loppujen lopuksi on kysymys ihmisen turvallisuudesta liikenteessä, ei keskiarvon käyttäminen mitoittavana arvona liene oikein.

Jos lähdetään siitä yleisestä varmuusvaatimuksesta, että koe-tuloksista 1/6 tai noin 15 % saa alittaa normeissa lähtökohdaksi otetun mitoitusterusteen, on tarpeellista muuttaa silmäpiste-teen korkeus 110 cm:ksi (Vrt. kuva 10). Normivaatimuksen alittavaan 1/6:aan jäisivät tällöin mm. Miniautojen ja urheiluautojen kuljettajat sekä useampien muitten autojen poikkeuksellisen lyhyet kuljettajat erikoisesti silloin, kun ajoneuvo on raskaasti kuormitettu.

Ajoneuvon korkeudeksi kohtaamis- ja ohitusnäkemää laskettaessa voitane myös otaksua 110 cm perusteluna se, että silloin syntyy näköyhteys ajajan silmästä silmään, jolloin auton katto on normaalisti näkyvissä noin 30 cm ja matalimpienkin urheiluautojen kyseessä ollen vielä noin 10 cm.

Pysähtymisnäkemää laskettaessa lienee perusteltua pitää esteen korkeutena 0 cm nykyisin käytetyn 10 cm asemasta. Estehän voi olla matala ja jopa ajoradassa oleva kuoppa, mikä sekin täytyy voida havaita pysähtymisnäkemän etäisyydeltä. Tämä ratkaisu helpottaisi myös matemaattisia tarkasteluja sikäli, että kohtaamisnäkemä olisi sama kuin 2 x pysähtymisnäkemä.

Lopuksi voidaan tarkastella suosituksen vaikutusta tiensuunnitteluun muutamassa erikoistapauksessa. Valtioneuvoston päätöksen [12] mukaan suunniteltaessa tietä 100 km/h ohjenopeudelle, tarvitaan 300 m kohtaamisnäkemä, mikä edellyttää kuperan taitteen pyöristyssäteen vähimmäisarvoksi 9500 m, kun silmäpiste on 120 cm korkeudella tienpinnasta ja ajoneuvo oletetaan samankorkuiseksi. Jos nyt otetaan laskuperusteeksi suosituksen edellyttämä 110 cm, on kuperan taitteen pyöristyssäteen vähimmäisarvo noin 10300 m, eli edelliseen verrattuna runsaat 8 % suurempi. Samantapaisella laskelmalla saadaan 120 km/h ohjenopeudelle ja 420 m kohtaamisnäkemälle muutos vähimmäisarvosta 17500 m arvoon 20000 m, mikä merkitsee yli 14 % lisäystä. Pienemmillä ohjenopeuksilla muutokset ovat absoluuttisesti pienempiä, mutta suhteellisesti samaa 10 % luokkaa (vrt. kuva 11), joka luonnollisesti on omiaan lisäämään jossain määrin tien rakentamiskustannuksia. Koska kuitenkin kysymys on liikenteen turvallisuudesta ja usein myös liikenteen kustannuksista sekä maisemallisista näkökohdista, on tahtuneen kehityksen huomioonottaminen tiensuunnittelussa välttämätöntä.

4. YHTEENVETO

Henkilöauton kuljettajan tämänhetkisen silmänsilmänkorkeuden määrittämiseksi suoritettiin Helsingin lähiympäristössä sijaitsevilla Lehtisaarella ja Puotilassa kaksi eri valokuvausta, joissa kuvattiin kaikkiaan 1042 autoa. 830 mittauskelpoisen kuvan perusteella todettiin, että autoilijan silmänsilmänkorkeuksien keskiarvo alittaa selvästi tiensuunnittelussa nykyisin lähtökohtana olevan 120 cm. Lehtisaarella saatiin keskiarvoksi 114,0 cm ja Puotilassa 117,8 cm keskihajonnan ollessa molemmissa tapauksissa 6,0 cm. Puotilassa kuvattujen autojen keskimääräiseksi korkeudeksi saatiin 145,9 cm keskihajonnan ollessa 6,3 cm.

Erikoisen tutkimuksen kohteeksi otettiin kaksi autotyyppiä, VW-1300 ("kupla") ja Miniautot, edellinen siksi, että se on nykyisin yleisin henkilöautotyyppi Suomessa ja jälkimmäinen siksi, että niiden ajajien silmänsilmänkorkeus näytti olevan poikkeuksellisen pieni. VW-1300 autoilijan silmän havaittiin olevan Lehtisaarella keskimäärin korkeudessa 115,2 cm ja Puotilassa korkeudessa

118,9 cm. Miniautojen vastaavat luvut olivat 103,9 cm ja 104,5 cm. Kaikissa tapauksissa keskihajonta oli 3 cm luokkaa.

Kuvattujen autojen keskimääräiseksi korkeudeksi saatiin 145,9 cm keskihajonnan ollessa 6,3 cm. Mainittakoon, että kaikkien Suomessa tällä hetkellä myytävien henkilöautomerkkien ja mallien keskikorkeus on 141,4 cm. Matalimpien urheiluautojen korkeus on yleensä välillä 120 - 130 cm.

Jos nyt lähdetään siitä yleisestä varmuusvaatimuksesta, että koetuloksista 1/6 tai noin 15 % saa alittaa normeissa lähtökohdaksi otetun mitoitusperusteen, on tarpeellista muuttaa silmäpisteen korkeus 110 cm:ksi. Normivaatimuksen alittavaan 1/6:aan jäisivät tällöin mm. Miniautojen ja urheiluautojen kuljettajat sekä useampien muitten autojen poikkeuksellisen lyhyet kuljettajat.

Ajoneuvon korkeudeksi ehdotetaan näkemiä laskettaessa myös 110 cm, jolloin auton kattoa näkyy havaintohetkellä normaalisti vähintään 30 cm. Pysähtymisnäkemää laskettaessa ehdotetaan esteen korkeudeksi 0 cm. Tämä olisi vähintään yhtä perusteltua kuin nykyinen 10 cm este ja lisäksi matemaattiset tarkastelut helpottuisivat, koska kohtaamisnäkemä olisi sama kuin 2 x pysähtymisnäkemä.

Suositus tarkoittaa käytännössä kuperien taitteiden minimipyöristyssäteiden kasvamista noin 10 %:lla. Lisääntyvistä kustannuksista huolimatta on ajoneuvoissa tapahtuneen kehityksen huomioonottaminen tiensuunnittelussa välttämätöntä.

5. SUMMARY

To study the present eye level of car drivers, 1042 cars were photographed at two outer suburbs of Helsinki: Lehtisaari and Puotila. From the 830 photos in which measurements could be made, it was found that the average eye level of the drivers was clearly lower than the 120 cm that forms the basis for present-day road planning. The photographs at Lehtisaari showed an average of 114,0 cm and those at Puotila 117,8 cm, with a standard deviation of 6,0 cm in both cases.

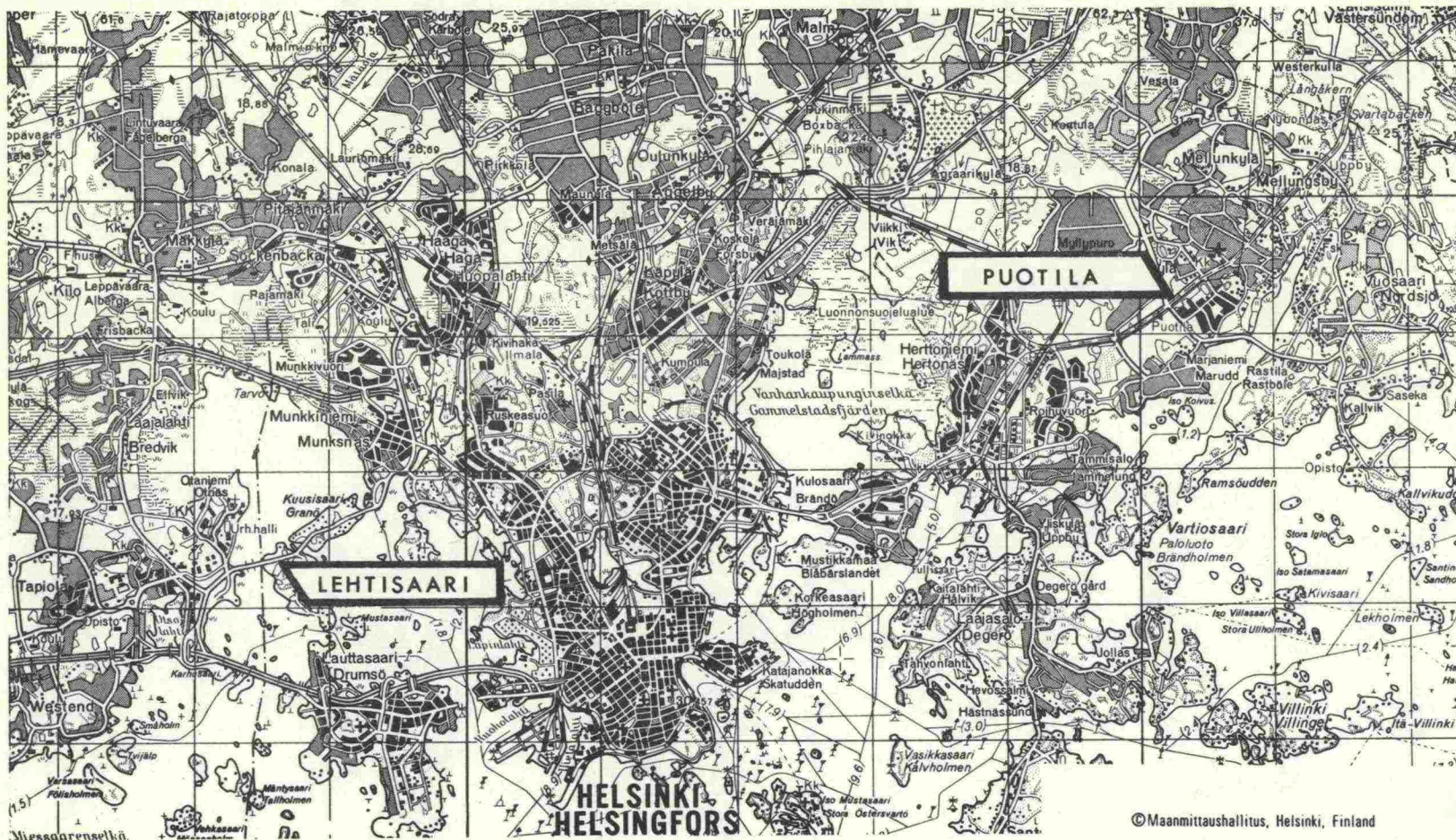
Two types of cars were studied separately: the Volkswagen 1300 "Beetleback" and Mini Morris and Austins - the first because it is the commonest type of car in Finland, the second because the eye level of their drivers seemed to be exceptionally low. The average eye level for the Volkswagen drivers was found to be 115,2 cm in Lehtisaari and 118,9 cm in Puotila. The corresponding figures for the Minis were 103,9 and 104,5 cm. In all four cases, the standard deviation was approximately 3 cm.

The average car height (measured at Puotila only) was 145,9 cm with a standard deviation of 6,3 cm. According to the statistics the average height for all makes and models sold in Finland at present is 141,4 cm. The height of the lowest-slung cars generally varies between 120 and 130 cm.

If the safety requirement is that only a sixth or 15 % of all actual eye heights may fall below the norm, then the eye level for planning purposes should be dropped to 110 cm. In that case, the sixth below the norm would be the drivers of Minis and sports cars and exceptionally short-statured drivers of other cars.

It is recommended that the car height should be taken as 110 cm in calculating sight distances in this case the sight distance would be that at which at least 30 cm of the roof is visible. It is also recommended that calculations of stopping sight distance should be based on an object height of 0 cm. This would be just as reasonable as the present 10 cm object height, and it would facilitate mathematical treatment because the "meeting sight distance" would be exactly double the stopping sight distance.

In practice, the recommendations mean raising the minimum radius of crest vertical curves by about 10 % in future road planning. Despite the rise in costs, this seems to be imperative in view of the recent development of road vehicles.



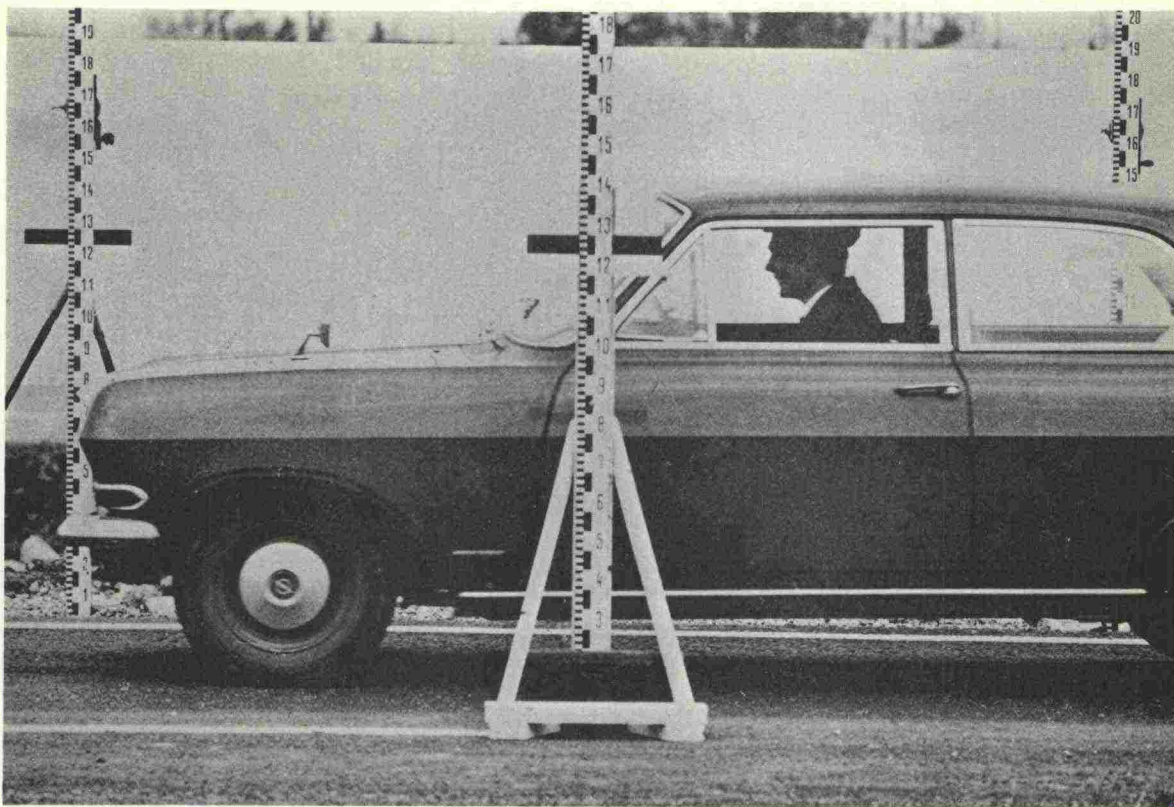
Kuva 1. Kuvauspaikkojen sijainti. Location of photographing places.



Kuva 2. Kamera oli 250 mm teleobjektiivilla varustettu Hasselblad, ja se asennettiin noin 14 m päähän lähimmästä latasta. The Hasselblad camera.



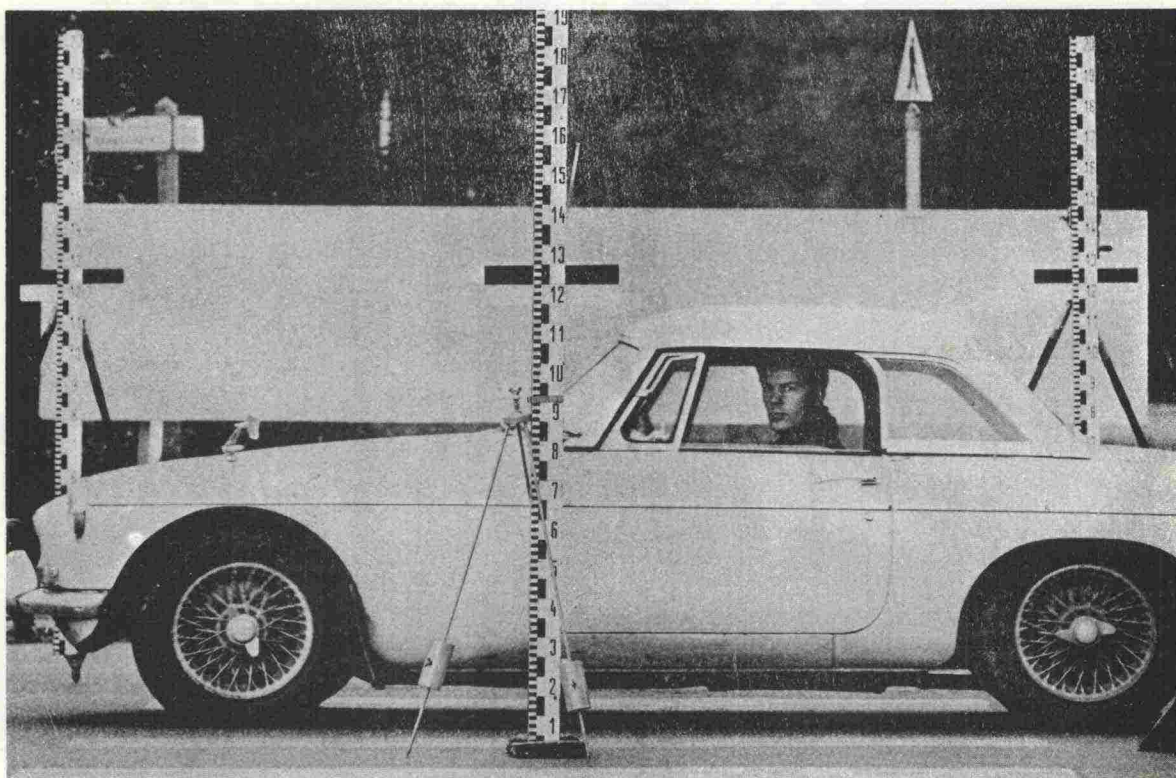
Kuva 3. Kuvauspaikka Puotilassa. Place of photographing in Puotila.



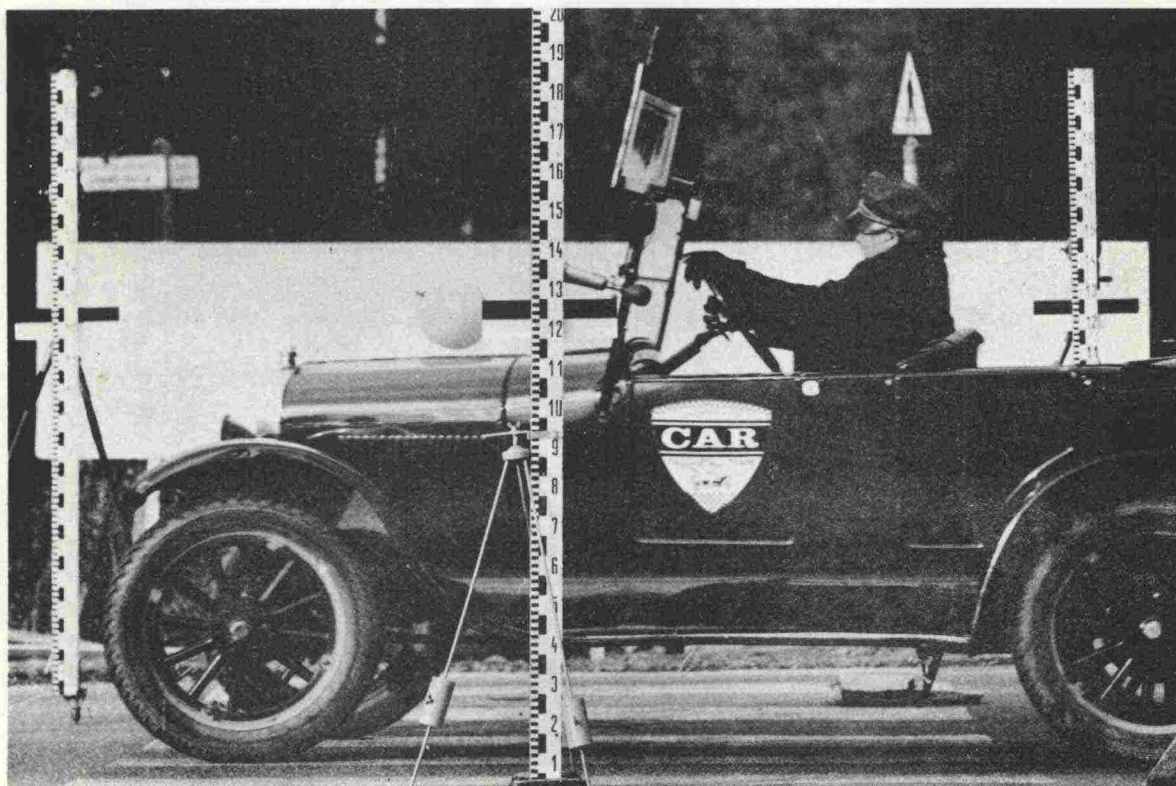
Kuva 4. Suurennus, kuvanegatiivista (6 cm x 6 cm).
The negative in enlarged size.



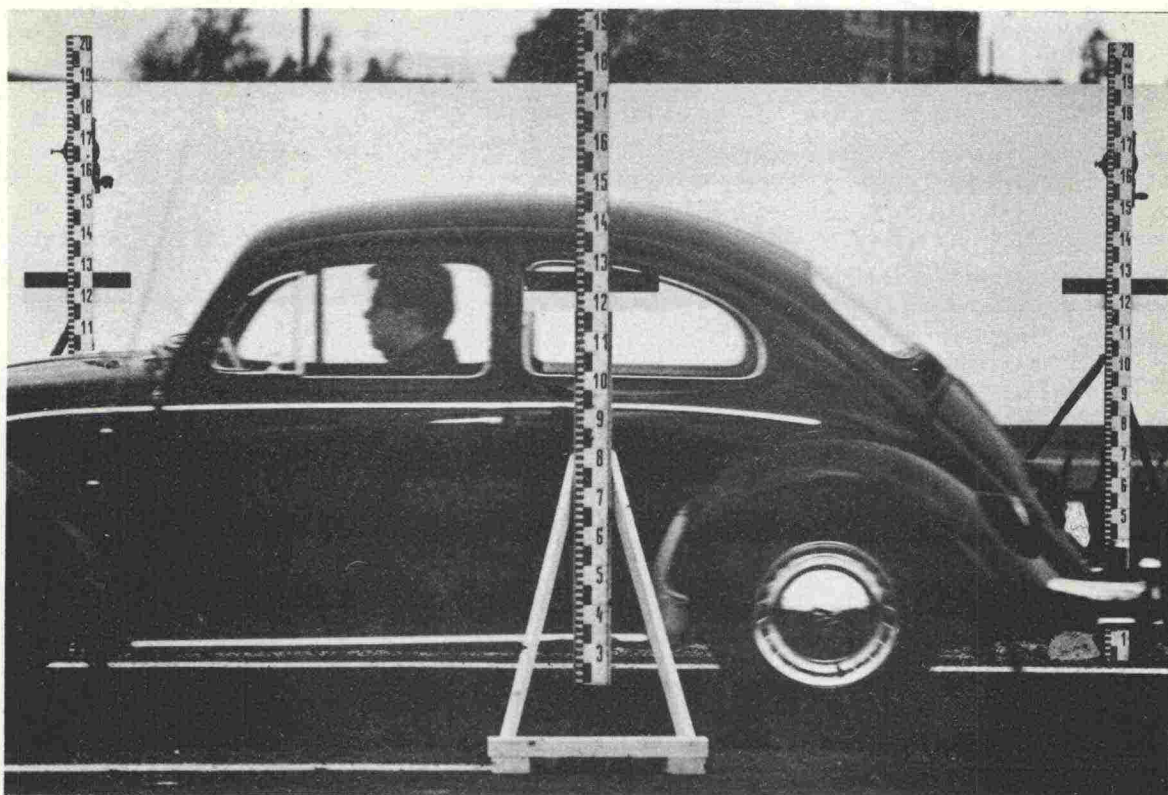
Kuva 5. Suureet l_s ja l_a . The quantities l_s and l_a .



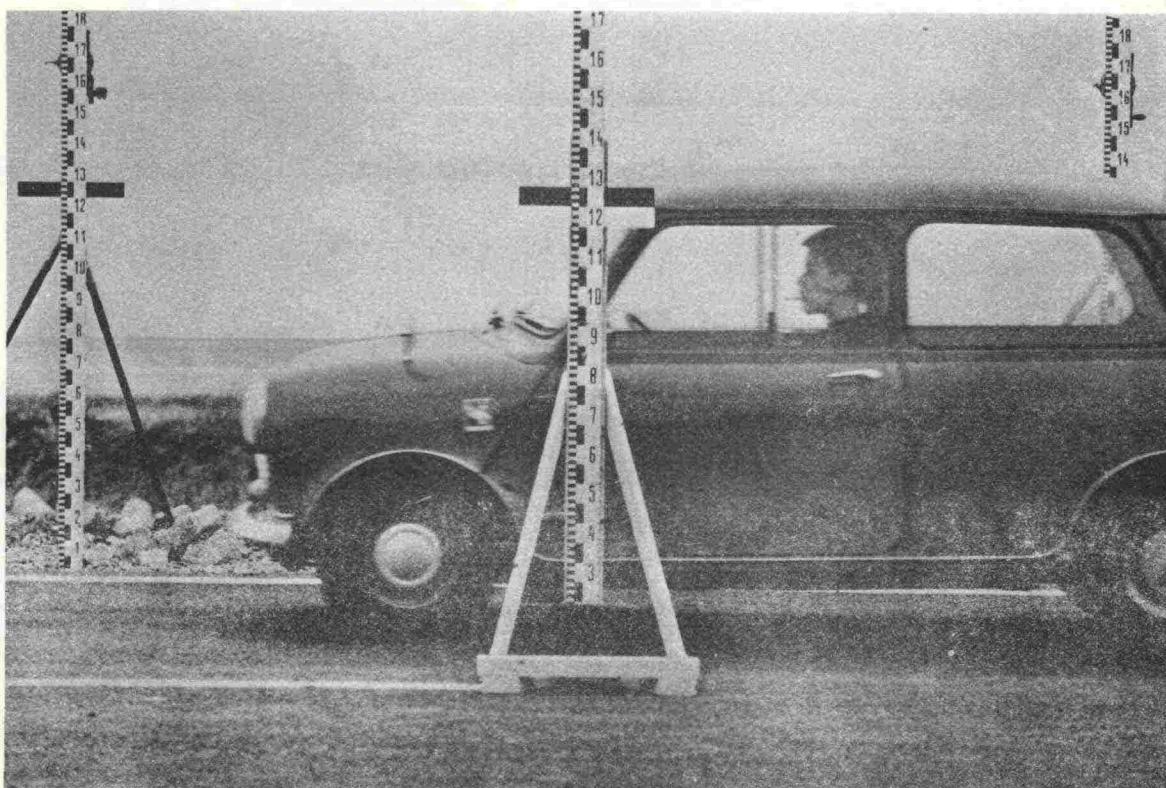
Kuva 6. Pienin silmänsilmäkorkeus oli 93,5 cm. The minimum eye height was 93,5 cm.



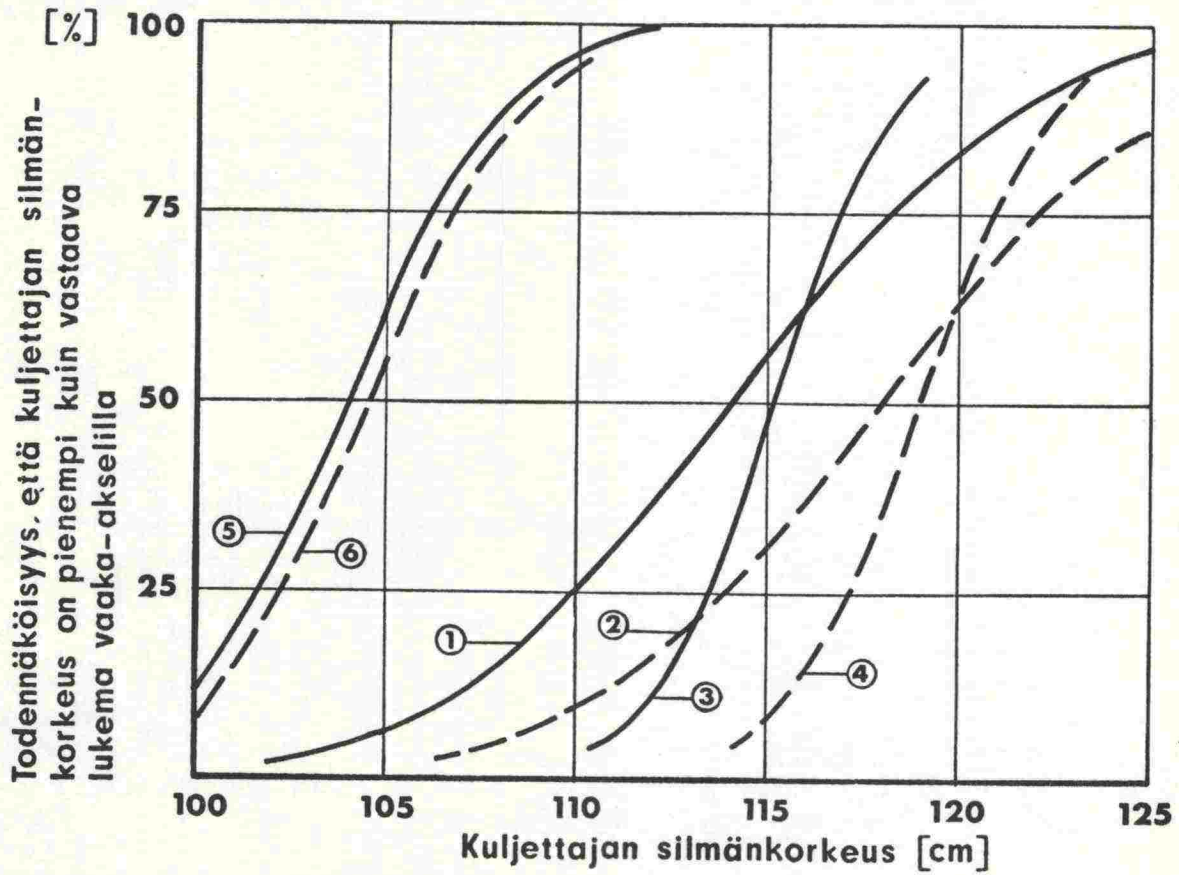
Kuva 7. Suurin silmänsilmäkorkeus oli 148,7 cm. The maximum eye height was 148,7 cm.



Kuva 8. VW-1300 ("Beetleback")



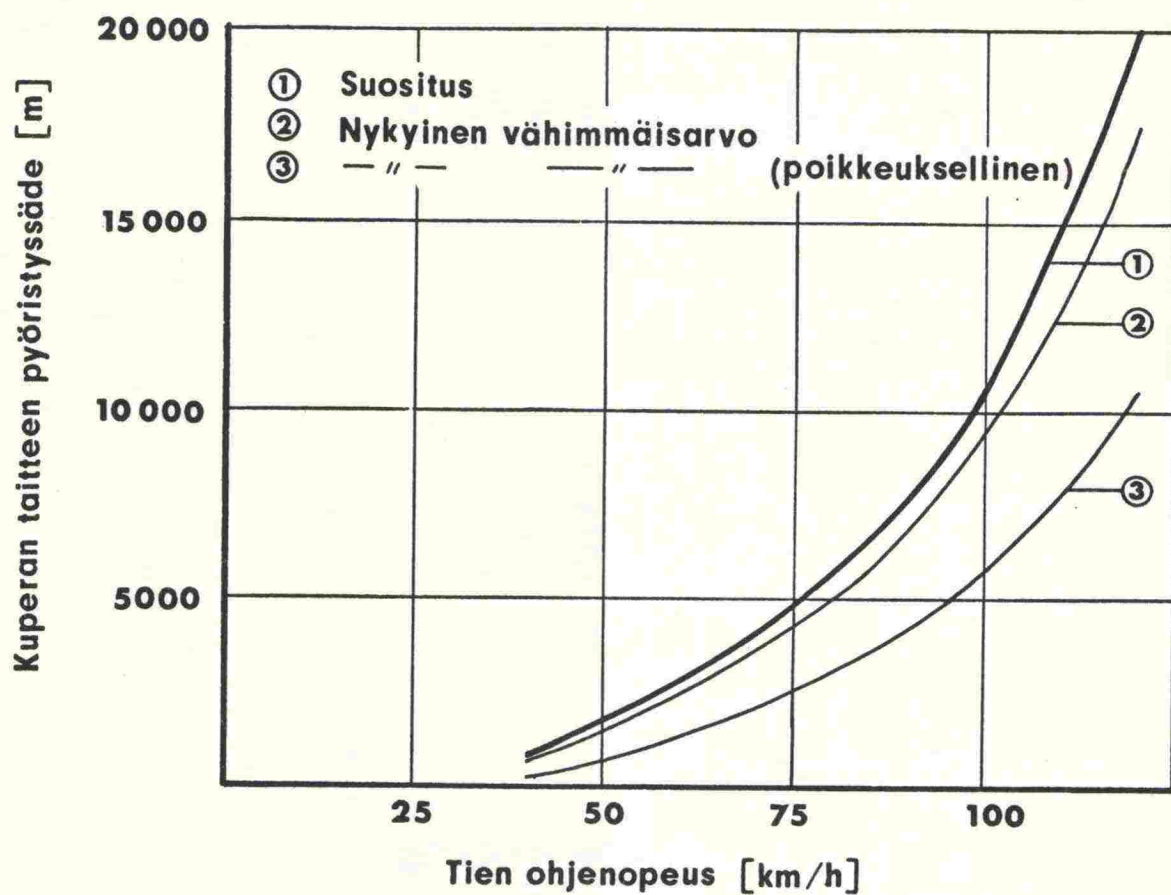
Kuva 9. Miniauto. Minicar.



- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| ① Kaikki autot (Lehtisaari) | ④ VW-1300 (Puotila) |
| ② — " — (Puotila) | ⑤ Miniautot (Lehtisaari) |
| ③ VW - 1300 (Lehtisaari) | ⑥ Miniautot (Puotila) |

Kuva 10. Frekvenssifunktioiden summakäyrät.

Cast lines of the frequency functions.



Kuva 11. Suosituksen vaikutus kuperan taitteen pyöristyssäteisiin eri ohjenopeuksille. Influence of the recommendation upon the radii of crest vertical curves with different design speeds.

KIRJALLISUUSLUETTELO

REFERENCES

1. D u r t h W., Die Augenhöhe des Kraftfahrers. Strassenverkehrstechnik 11 (1967) 11-12, s. 157...159.
2. H a r t i k a i n e n O.-P., Bilistens ögonhöjd. Dansk Vejtidskrift 46 (1969) 12, s. 236...240.
3. Henkilöautojen "Mikä mikin on 1970". Moottori 46 (1970) 1, s. 26...37.
4. Henkilöautojen myynti heikkoa joulumarkkinoilla. Helsingin Sanomat 24.1.1970 s. 15 (Täsmennyksiä Valtion tietokonekeskus/Huotilainen).
5. H i e r s c h e E.-U., Die Bedeutung und Ermittlung der Sichtweiten von Strassen. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 67. Bonn 1968.
6. L o u t z e n h e i s e r D.W. and H a i l e E.R., Vertical Curve Design, Highway Research Board, Bulletin 195. s. 5. Washington D.C. 1958.
7. Normalbestämmelser för vägars geometriska utformning. Blad 2: 14. Statens vägverk. Stockholm 1967.
8. A Policy on Geometric Design of Rural Highways, s. 147...151. American Association of State Highway Officials. Fourth Printing. Washington D.C. 1967.
9. RAL-L 1963. Strasse und Autobahn 14 (1963) 9.
10. S t o n e x K.A., Driver Eye Hight and Vehicle Performance.. Highway Research Board. Bulletin 195, s. 2. Washington D.C. 1958.
11. Technical Memorandum N:o T 8/68. Ministry of Transport. London 1968.
12. Valtioneuvoston päätös, joka sisältää teknilliset ohjeet yleisten teiden tekemisestä ja kunnossapidosta sekä ohjeet näkemäalueen määrittämisestä.
13. Vorschriften und Richtlinien der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachmänner. Normblatt 40133 a. Zürich 1959.

A6. NÄKEMÄT TIENSUUNNITTELUSSA

SULEVI LYLY

SISÄLLYSLUETTELO

0. YLEISTÄ	1
1. NÄKEMIEN MERKITYS TIESUUNNITTELUN LÄHTÖKOHTANA	1
1.1 Liikenneturvallisuus	1
1.2 Liikenteenvälityskyky ja palvelutaso	2
1.21 Palvelutason välityskyky	2
1.22 Näkemät ja turvallinen enimmäisnopeus	2
1.23 Tienopeus ja välityskyky	3
1.3 Liikennetalous	6
2. NÄKEMÄOLOSUHTEIDEN MUODOSTUMISEN YLEISET PERIAATTEET	7
3. PYSÄHTYMISS- JA OHITUSNÄKEMÄN PITUUS	9
4. SILMÄPISTEEN JA HAVAITTAVAN KOHTEEN VAIKUTUS PYÖRISTYSSÄTEIDEN SUURUUTEEN JA NÄKEMIEN PITUUTEEN	12
5. NÄKEMIEN PITUUDEN NUMEROARVOJEN MERKITYKSESTÄ	15
6. PYÖRISTYS- JA KAAARRESÄTEIDEN SUURUUDEN VAIKUTUS NÄKEMÄOLOSUHTEISIIN	17
7. TIELTÄ VAADITTAVAT NÄKEMÄOLOSUHTEET	20
7.1 Näkemien arviointiperusteet	20
7.2 Esimerkkejä nykyisten teiden näkemäolosuhteista	21
7.3 Näkemävaatimukset Saksan ja Ohion normien mukaan	22
7.4 Tielinjauksen luonteen vaikutus näkemiin	23
8. ERITYISTARKASTELUJA	24
8.1 Näkemien riippuvuus ajosuunnasta ja vuodenajasta	24
8.2 Valokuvia eräistä näkemien muodostumisen erikoistapauksista Kirkkonummi-Hämeenkylä ja Lohjanharjunoppo osuuksilla	25
9. YHTEENVETO	26
LÄHDELUETTELO	28

O. YLEISTÄ

Riittävän pitkiä näkemiä ja samalla riittäviä toimintamahdollisuuksia olosuhteiden niin vaatiessa voidaan pitää tiesuunnittelun peruslähtökohtana. Tästä syystä on ns. pysähtymisnäkemä sekä vaaka- että pystytason linjauksessa liikenneturvallisuuden määräämä ja tien jokaiselta kohdalta vaadittava ehdoton minimi. Lisäksi olisi pyrittävä siihen, että sellaisia osuuksia, joilla näkemät ovat niin pitkät, että ohittaminen olisi mahdollista, olisi riittävän paljon. Näkemät vaikuttavat myös liikenteenvälityskykyyn ja samalla liikennetalouteen. Seuraavassa pyritään selvittämään näkemäolosuhteille asetettavia vaatimuksia kaksikaistaisien teiden suunnittelussa. 4- tai useampikaistaisia teitä ei tarkastella eikä myöskään näkemille asetettavia vaatimuksia tasoliittymissä.

1. NÄKEMIEN MERKITYS TIESUUNNITTELUN LÄHTÖKOH-TANA

1.1 Liikenneturvallisuus

Tutkimuksia, joissa näkemien merkitys liikenneturvallisuuden kannalta olisi osoitettu onnettomuustilastojen avulla, on kuitenkin tehty varsin vähän. Youngin tutkimuksen (2) mukaan kasvaa onnettomuuksien määrä kaksinkertaiseksi, kun näkemän pituus pienenee 760 m:stä 240 m:iin (1, 5, 7). Alkuperäistä tutkimusta ei ole ollut käytettävissä, mutta Bitzl'in tutkimuksen (1) mukaan siinä olisi kysymys näkemistä kaarteiden kohdalla. Tällaista mainintaa ei kuitenkaan ole Norjan normeissa (7), joissa on mainittu saman tutkimuksen tulokset:

näkemän pituus	onnett./milj. ajon.km
< 240 m	1.5
240-460	1.2
460-760	0.9
> 760	0.7

Raff'in tutkimuksen (3) mukaan onnettomuuksien lukumäärä hieman kasvaa, kun näkemäesteiden lukumäärä kilometriä kohti kasvaa (1). Hiltz on kuitenkin päättänyt tutkimuksessaan (4) päinvastaiseen tulokseen (5, 7), ja sen perusteella on (7):ssä päätelty, että suunnittelussa on pyrittävä homogeeniseen tielinjaukseen ((1):n mukaan Raff'in tutkimukset koskisivat jälleen näkemiä kaarteiden kohdalla).

näkemäesteitä ¹⁾ km kohti	onnettomuuksia/ milj.ajon.km	
	Hiltz	Raff
0.6 kpl	2.2	1.1
0.6-1.2	2.6	1.5
1.3-1.8	2.4	1.6
1.9-2.4	2.0	1.8
2.5-3.1	1.8	

1) näkemä <180 m tasaisessa maastossa, <120 m vuorisessa maastossa

Schoppert on tutkimuksessa (6) yleisesti todennut, että onnettomuusluvut kasvavat näkemäesteiden lukumäärän (<450 m:n näkemä) kasvaessa. Sen lisäksi hän on tarkastellut liikennemäärän vaikutusta onnettomuuslukuihin ja todennut, että huonoissa näkemäolosuhteissa onnettomuusluvut ovat suurimmillaan, kun liikennemäärät ovat keskisuuria. Jos sen sijaan liikennemäärä on suurempi kuin 5000 ajon/vrk, on näkemien merkitys pienempi ja tämän on arveltu johtuvan siitä, että ajo-olosuhteet ja nopeudet ovat suurilla liikennemäärillä varsin rajoitetut (1).

Tielinjan lisäksi on eri maiden normeissa asetettu erityisiä näkemäaluevaatimuksia myös teiden liittymille. Tutkimuksen (8) mukaan ei kuitenkaan katuliittymien näkemäolosuhteiden laadulla todettu olevan vaikutusta onnettomuuslukuihin.

Suhteellisen uusien ruotsalaisten tutkimustulosten mukaan kasvavat onnettomuusluvut näkemien huonontuessa vain, kun tie on suhteellisen kapea (41).

	näkemä		
tien leveys	100	300	600 m
6.5 m ilman pient.	1.30	0.75	0.40 onnett./ milj.ajon. km
7.0 " " "	0.85	0.55	0.30
7.5 " ja pientar.	0.50	0.35	0.30

Tulosten mukaan saattaa kapeiden ja leveiden poikkileikkausten onnettomuuslukujen ero itse asiassa johtua näkemien erosta. Ei ole kuitenkaan varmaa, että tulokset olisivat meillä samanalaatuiset, koska kokemuksen mukaan ajotavat ovat siinä suhteessa erilaiset, että ohitustilanteissa käytetään Ruotsissa monasti hyväksi myös piennarta.

On ilmeistä, että näkemien merkitys liikenneturvallisuudelle tunnetaan vielä varsin pintapuolisesti. Esimerkkinä voisi mainita kuperien taitteiden näkemäolosuhteet. Pyöristyssäteen suurentaminen parantaa näkemiä itse pyöristyskaaren osuudella, mutta lisää samalla pyöristyskaaren pituutta, ja lyhentää niitä taitepisteiden välissä olevia suoria tai koveria osuuksia, joilla näkemät ovat hyvät.

1.2 Liikenteenvälityskyky ja palvelutaso

Kaksikaistaisilla teillä rajoittavat riittämättömät näkemät ohitusta ja samalla välityskykyä. HCM:ssä käytetään näkemäolosuhteiden mittana N_{460} ¹⁾ jalan eli 460 m:n näkemien osuutta ($N_{460}\%$). Myös tvl:n normien välityskykytarkasteluissa on otettu huomioon näkemistä aiheutuva korjauskerroin. Uudessa HCM:ssä (9) ovat vastaavat tarkastelut yksityiskohtaisemmat uusien käyttöön otettujen käsitteiden palvelutaso sekä tienopeus vuoksi. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki HCM:n käyrästäistä tienopeuksilla 70 mph ja 60 mph.

- 1) tarkasti ilmaistuna pitäisi tässä sekä edempänä olla "vähintään 1500 jalan" tai "1500 jalan".

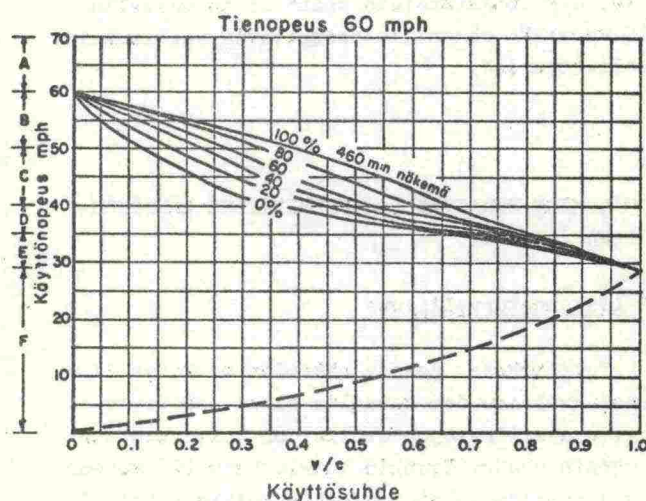
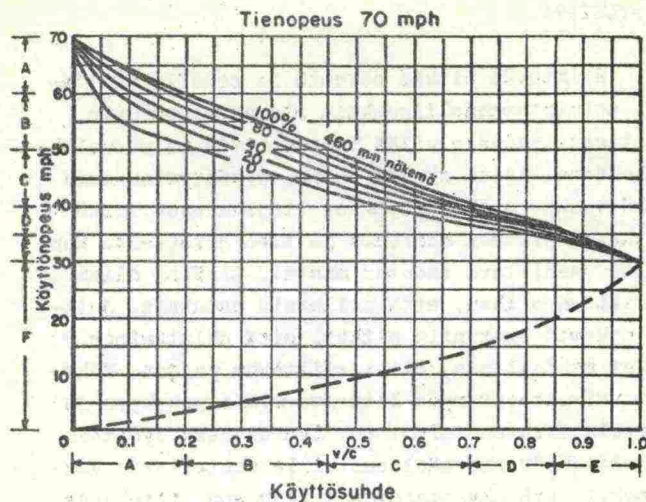
1.21 Palvelutason välityskyky

HCM:n kuvien perusteella on laadittu kuvissa 2-3 esitetyt yhteenvedot näkemäprosentin N_{460} vaikutuksesta palvelutason välityskykyyn eri tienopeuksien (keskimääräisten ohjenopeuksien) arvoilla. Tarkastelut on suoritettu sekä absoluutisesti että suhteellisesti siten, että arvoja kussakin tienopeusluokassa silloin kun $N_{460} = 100\%$ on merkitty yhdellä.

Kuvista 2-3 käy ilmi, että näkemien vaikutus välityskykyyn on suhteellisesti suurempi korkeamman luokan palvelutasoilla. Liikennemäärien kasvassa ja samalla palvelutason huonontuessa muodostaa erityisesti vastaantuleva liikenne ohituskia rajoittavan tekijän, jolloin maastosta aiheutuvien näkemäesteiden suhteellinen merkitys ilmeisesti pienenee. Jos taas näkemät ovat huonot, täytyy liikennemäärien olla pieniä, jotta korkea nopeus- ja palvelutaso voitaisiin saavuttaa. Esimerkiksi tienopeuden arvolla 70 mph pienenee A-tason välityskyky 50 %, C-tason 13 %, kun näkemä-prosentti pienenee sadasta 50 %:iin.

Kun halutaan selvittää, missä määrin näkemäolosuhteet todellisuudessa vaikuttavat välityskykyyn, on otettava huomioon, kuinka näkemäprosentit tavallisesti vaihtelevat olemassaolevilla teillä. Tavallisessa maastossa ei nimittäin milloinkaan voida päästä arvoon $N_{460} = 100\%$, vaan kuvien 24-26 perusteella tavallinen vaihtelualue on 35 % - 65 %. Seuraavassa on kuvan 2 tulosten perusteella verrattu välityskykyä näillä näkemäprosenttien arvoilla.

		v/c kun N_{460} on		
palvelutaso	tienopeus	65 %	35 %	suht. ero
C	70 mph	0.52	0.45	- 13 %
	60	0.41	0.33	- 20
	50	0.34	0.22	- 35

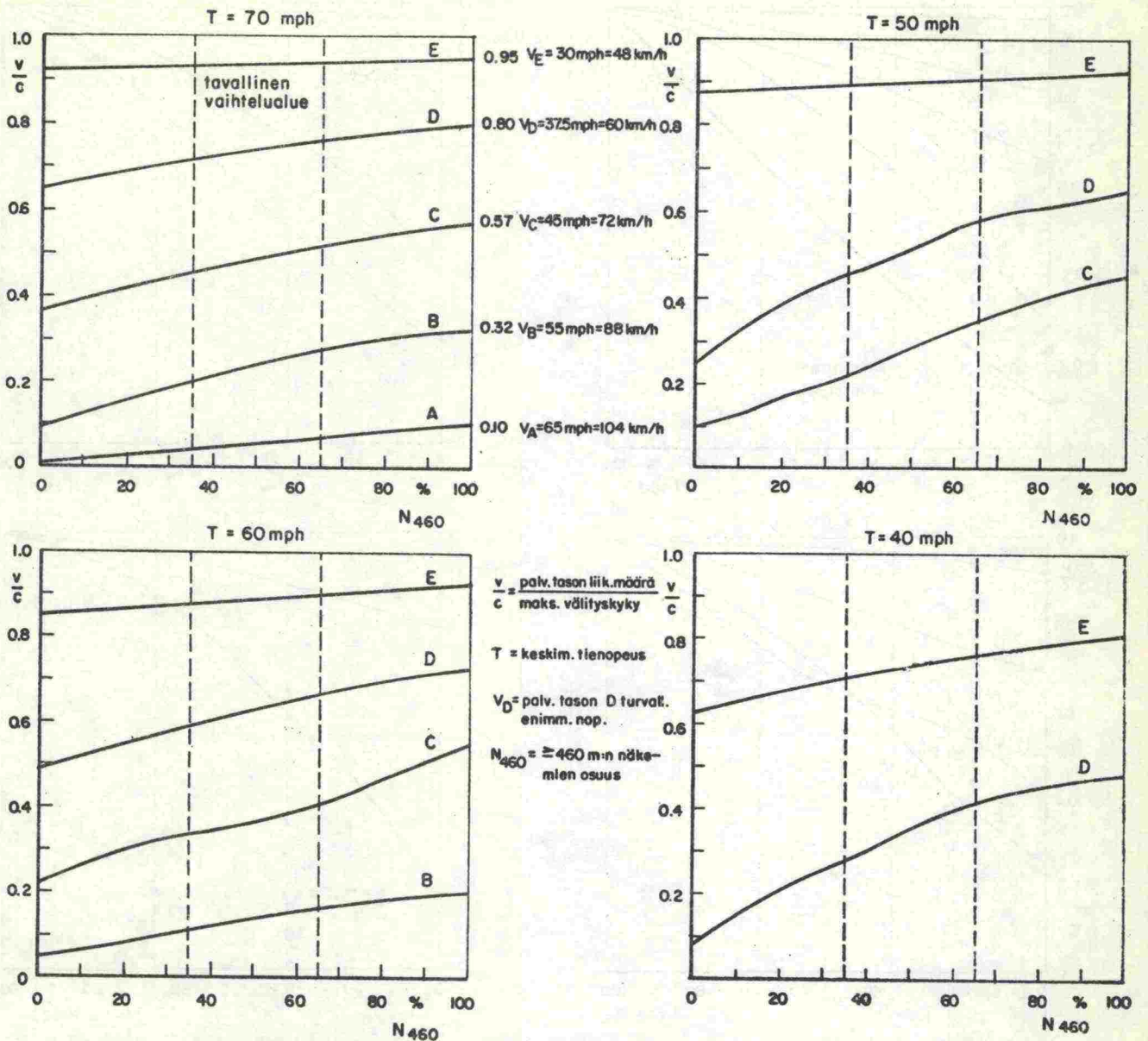


Kuva 1. Käyttönopeuden ja käyttösuhteiden välinen riippuvuus.

Havaitaan siis, että näkemien aiheuttama vaihtelualue välityskykyyn teillä, joiden tienopeus on suuri, on todellisuudessa vain varsin pieni, 15 % - 20 %. Sen sijaan tienopeuden vaikutus on ratkaiseva, kuten edempänä yksityiskohdaisesti käy ilmi.

1.22 Näkemät ja turvallinen enimmäisnopeus

HCM:n tulosten perusteella voidaan myös tutkia, kuinka näkemäolosuhteet vaikuttavat turvalliseen enimmäisnopeuteen (käyttönopeuteen) ja samalla palvelutasoon. Kuvissa 4-5 esitettyjen yhteenvedojen yleisvaikutelma on, että näkemien vaikutus nopeuteen on pienin, kun liikennemäärät ovat pienimmillään tai suurimmillaan (palvelutaso korkea tai alhainen). Eri tienopeuksien arvoilla ei käyrien järjestys kuitenkaan ole systemaattisesti sama. Ilmeisesti on niin, ettei hyvin pienillä liikennemäärillä ($v/c = 0.1$) näkemäolosuhteiden huonontuminen paljonkaan rajoita nopeutta. Jos taas liikennemäärät ovat hyvin suuret ($v/c = 0.8$),



Kuva. 2. Näkemäprosentin N_{460} vaikutus käyttösuhteeseen eri palvelutasoilla.

pienenee liikenteen nopeus joka tapauksessa näkemäolosuhteista riippumatta. Seuraavassa on vertailtu turvallisia enimmäisnopeuksia näkemäprosentin tavallisella vaihtelualueella.

Nopeus kun N_{460} on				
$v/c = 0.55$	tienopeus	65 %	35 %	erotus
	70 mph	44 mph	42 mph	- 2 mph
	60	41	39	- 2
	50	38	37	- 1

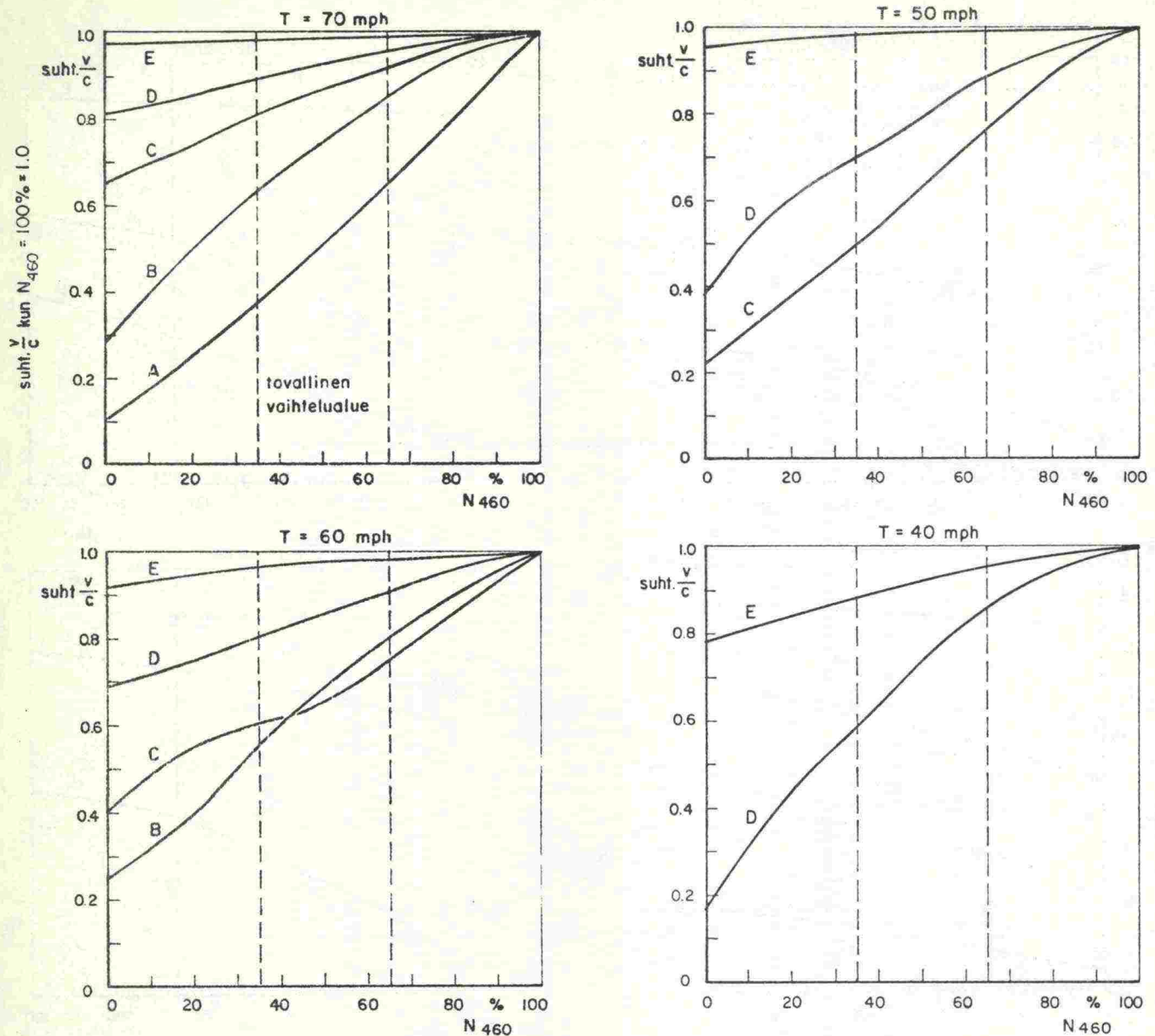
Havaitaan, että näkemien vaikutus turvalliseen enimmäisnopeuteen (palvelutasoon) ja samalla keskinopeuteen on suhteellisen pieni.

Vaikka saadut tulokset osoittavat, että itse näkemäolosuhteiden vaikutus keskinopeuteen on

suhteellisen pieni, ei asiaa ole vielä loppuun saakka selvitetty tienopeuskäsitteen epämääräisyyden vuoksi. HCM:n mukaan juuri tienopeus vaikuttaa ratkaisevasti palvelutasoon ja samalla turvalliseen enimmäisnopeuteen. Jos tienopeus on esim. 50 mph, eivät A- ja B-luokan palvelutasot eli enimmäisnopeudet 50 mph ole lainkaan mahdolliset.

1.23 Tienopeus ja välityskyky

Koska uuden HCM:n mukaan tienopeus vaikuttaa välityskykyyn suuresti, on lopuksi tarkasteltava yksityiskohtaisemmin tämän tekijän vaikutusta.

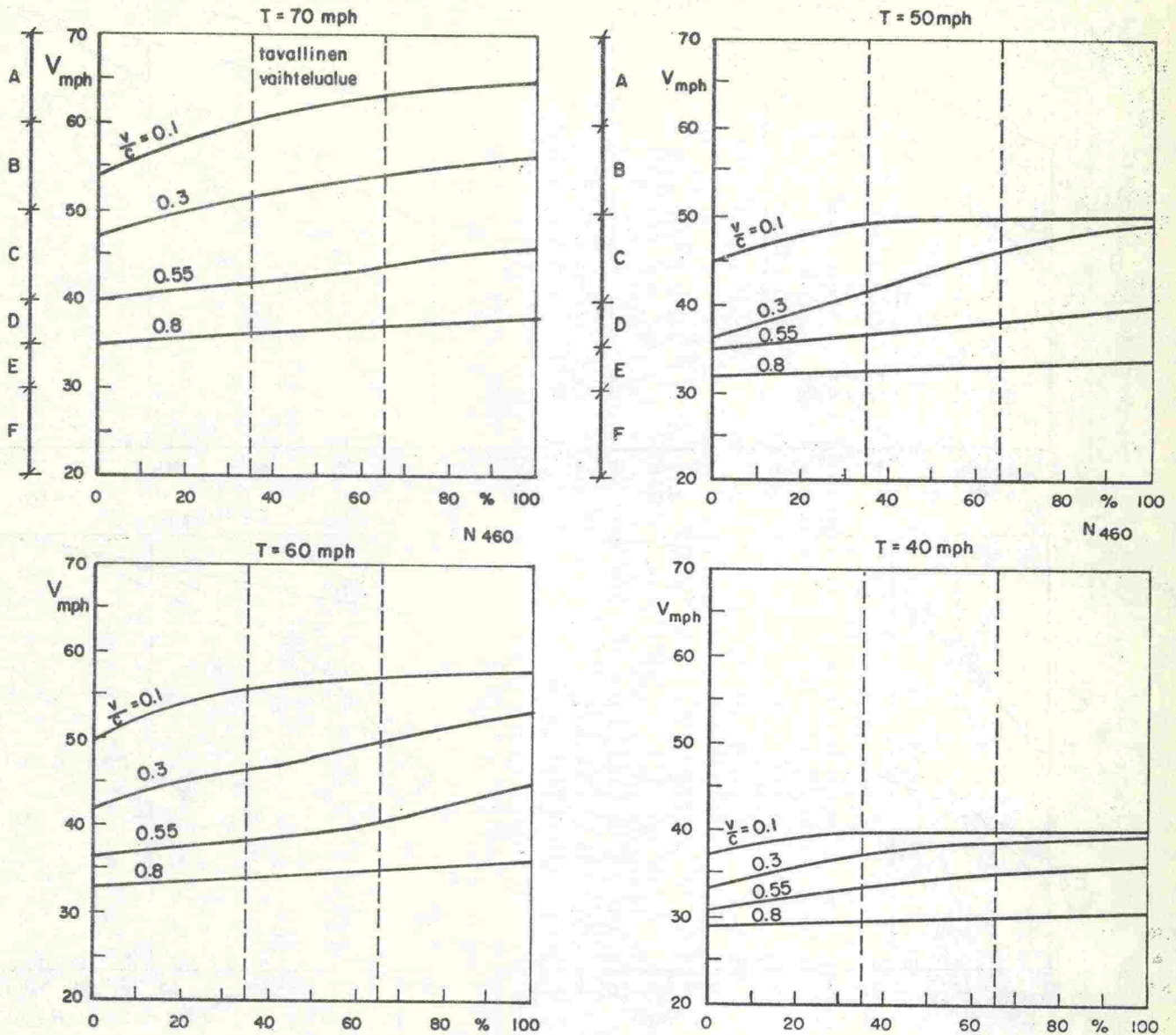


Kuva 3. Näkemäprosentin N_{460} suhteellinen vaikutus käyttönopeuteen eri palvelutasoilla.

Kuvissa 2-5 suoritettiin tarkastelut siten, että kunkin tienopeuden arvoilla merkittiin maksimivälityskykyä 1:llä, jolloin sama suhde v/c merkitsee absoluuttisesti erisuuruista välityskykyä tienopeuksien eri arvoilla. Siitä syystä on kuvassa 6 esitetty yhteenveto näkemäprosentin N_{460} ja tienopeuden vaikutuksesta välityskykyyn C-luokan palvelutasolla. Kuvan on HCM:n perusteella laatinut dipl.ins. Leskinen, joka tvh:n tiestötoimistossa on tutkinut teiden parantamistarpeen arviointimenetelmiä (40). Tienopeuden hän on määrittänyt näkemämittauksista saadun kohtaamisnäkemän perusteella siten, että sen maksimiarvo suoralla tiellä on 110 km/h. Lisäksi hän on tutkinut menetelmiä sen arvioimiseksi mahdollisimman yksinkertaisesti tvh:n inventointimittauksista saatavan näkemäprosentin mukaan.

Kuva 6 osoittaa jälleen, että näkemien vaikutus välityskykyyn on suhteellisen pieni, mutta sen sijaan tienopeuden vaikutus ratkaiseva. Esimerkiksi arvolla $N_{460} = 40\%$ kasvaa välityskyky kaksinkertaiseksi, kun tienopeus kasvaa arvosta 70 km/h arvoon 105 km/h. Sen sijaan esim. tienopeudella 100 km/h kasvaa välityskyky vain 15 %, kun N_{460} kasvaa arvosta 30 % arvoon 60 %.

Koska juuri tienopeuden vaikutus on ratkaiseva, olisi sen määrittämiseksi saatava mahdollisimman tarkat ohjeet. Valitettavasti on HCM-informaatio tässä suhteessa varsin niukka. Luvussa 5 (s. 94) mainitaan, että keskimääräistä tienopeutta laskettaessa otetaan huomioon jokaisen kaarre- ja kriittillisen (?) pyörästys- säteen geometria mukaanluettuna säteen suuruus



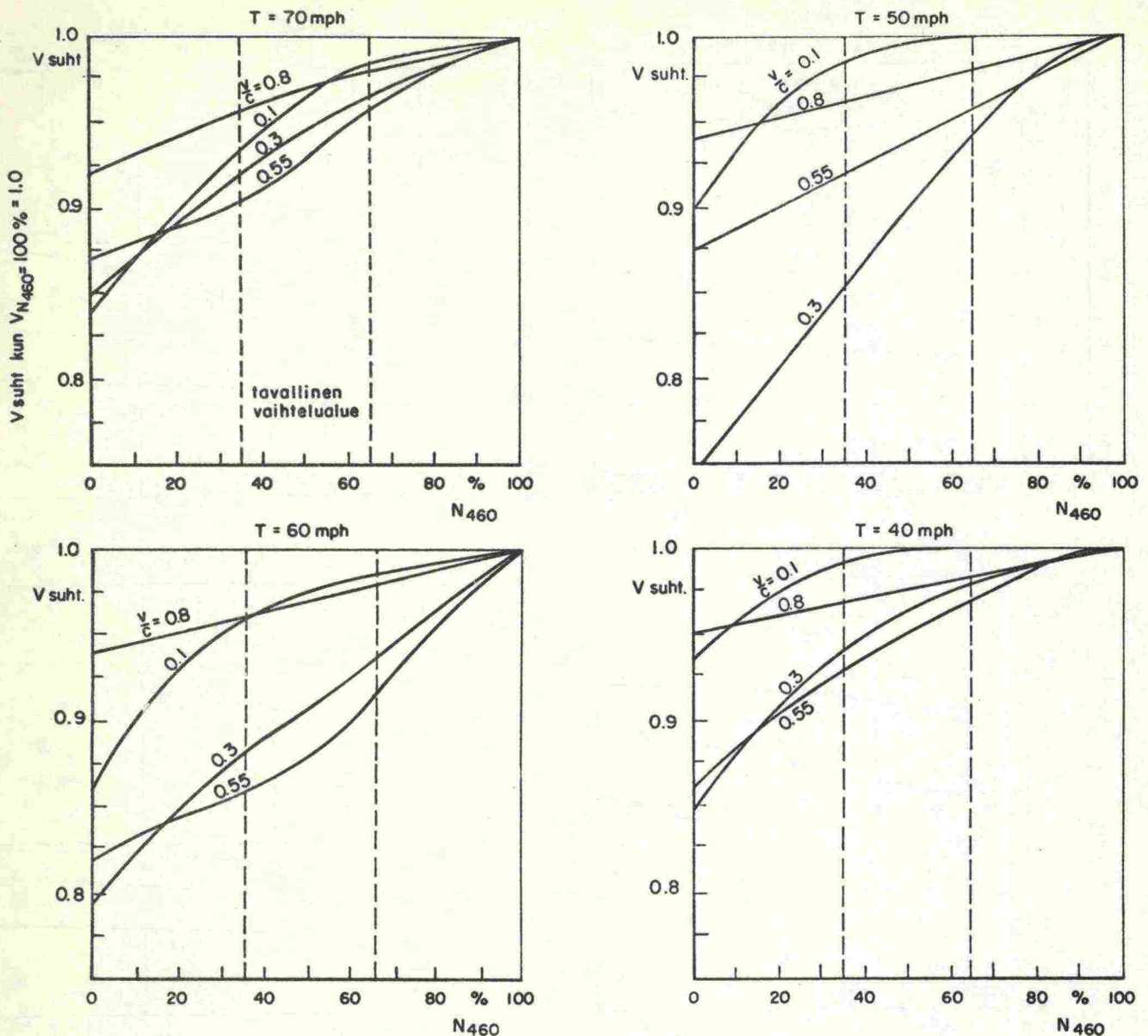
Kuva 4. Näkemäprosentin N460 vaikutus käyttönopeuteen eri käyttösuhteiden arvoilla.

ja pituus, jokaista sädetä vastaava ohjenopeus AASHO:n normien mukaan (myös matka, jonka keskinopeuteen käytetty säde vaikuttaa ennen ja jälkeen kaariosuuden).

Tiestötoimiston kehittämässä menetelmässä tienopeus määrätään kohtaamisnäkemän mukaan. Amerikkalaisen käytännön mukaan pitäisi kuitenkin käyttää ilmeisesti pysähtymisnäkemän antamia ohjenopeuksia, koska kohtaamisnäkemää ei lainkaan tunneta USA:ssa. Tätä muutosta onkin harkittu tiestötoimistossa ja silloin saadaan n. 10 km/h suurempia tienopeuksia. Ainoassa, HCM:n luvussa 10 (s. 316) esitettyssä esimerkis-

sä on kuitenkin otettu huomioon ainoastaan vaakatason kaarresäteet ja oletettu pystytason linjaus suoraksi.

Kuvan 6 johdosta olisi syytä yleisemmin selvittää näkemien ja tienopeuden riippuvuutta. Katkoviivojen rajoittama, tavalliseksi vaihtelualueeksi kutsuttu alue osoittaa kuitenkin, että samalla näkemäprosentin arvolla saattaa tienopeus vaihdella suuresti. Kuvan pisteet A ja B edustavat ääriarvoja näkemäprosentin arvolla 40 % eli tienopeus voi vaihdella 70 km/h ja 105 km/h. Tien A voidaan katsoa edustavan suhteellisen uutta linjausta: tie kaartee maas-



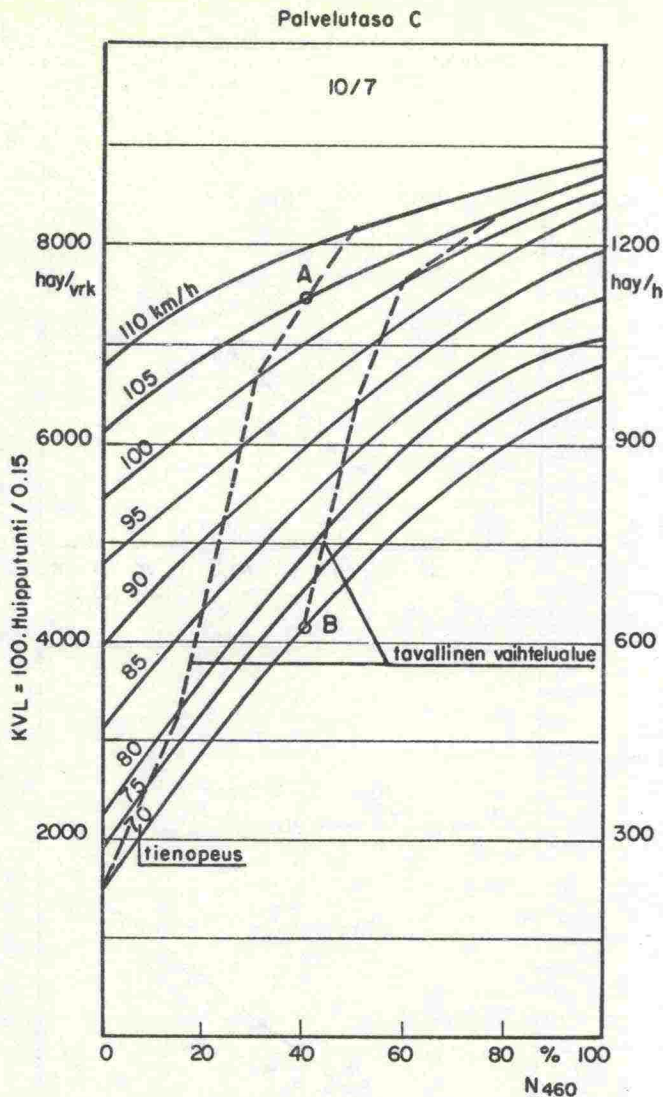
Kuva 5. Näkemäprosentin N_{460} suhteellinen vaikutus käyttönopeuteen eri käyttösuhteiden arvoilla.

ton muotojen mukaan, pyörityssäteet ovat suuret, yleensä vähintään kohtaamisnäkemän mukaiset, mistä syystä näkemäprosentti N_{460} jää pieneksi (Lohjanharju-Noppo). Tie B edustaa vanhaa, lähinnä 1930-luvun linjausta eli pieniä pyörityssäteitä, mutta suhteellisen suoraa tietä, jolloin tienopeus jää pieneksi, mutta näkemäprosentti kuitenkin suhteellisen suureksi (Helsinki-Porvoo). Ilmeisesti olisi yksityiskohtaisemmin selvitettävä, miten pyörityssäteet todellisuudessa vaikuttavat liikenteen käyttäytymiseen ja välityskykyyn. Eri asia on sitten, millä nopeudella ajoneuvojen turvallisuussyistä pitäisi ajaa.

1.3 Liikennetalous

Edellisen kohdan tarkasteluissa todettiin, että näkemien huononeminen pienentää palvelutua ja nopeutta ja lisää siten liikenteen aikakustannuksia. Näkemillä on siten myös liikennetaloudellinen merkitys.

On ilmeistä, että HCM:n tuloksista ilmenevä nopeuden pieneneminen näkemien huonontuessa merkitsee samalla ainakin osittaista jononmuodostusta. Syyrakki on todennut, että jonon pituus riippuu edessä ajavan nopeudesta siten, että jonon pituuden lisääntyminen yhdellä ajoneu-



Kuva 6. Näkemäprosentin ja tienopeuden vaikutus palvelutason C välityskykyyn.

volla vastaa likimain 4 km/h:n nopeuden alenemista ja jonossa olleiden ajoneuvojen osuudelle eli jonoprocentille hän on saanut seuraavan mallin (11):

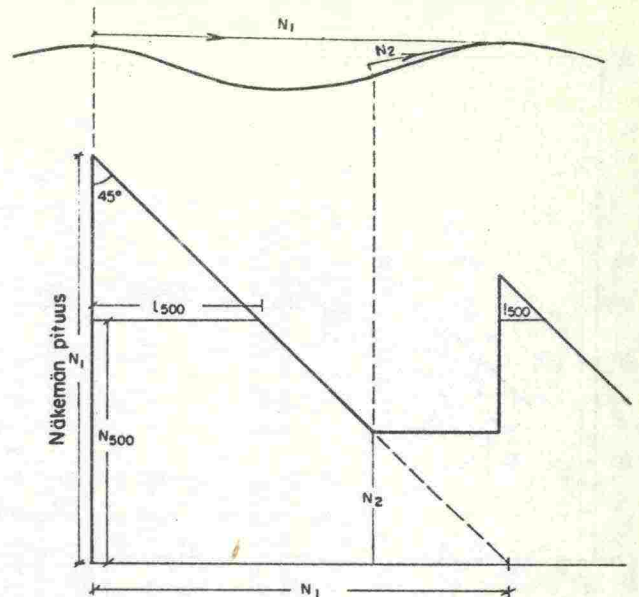
$$\text{Jonoprocentti} = 0.30 \cdot Q + 0.12 \cdot N_{500} + 0.4$$

$$r = 0.83$$

Q = liikennemäärä mittaussuuntaan ajon/h
 N_{500} = näkemäprocentti < 500 m

Sveitsiläinen Dietrich on pyrkinyt kehittämään mitta-arvon jonomuodostuksen aiheuttaman häirtä-asteen määrittämiseksi ja muuttujina ovat jonon pituus, jonossa ajavien aikavälit ja jonon keskinopeus (12).

Norjan normeissa (7) on otettu huomioon liikennetaloudelliset näkökohdat tielinjauksen suunnittelussa siten, että on määritetty ns. optimaalinen ohjenopeus, jolloin rakennus- ja ajokustannusten summa on pienin. Tämänlaatuinen ohjenopeus riippuu ratkaisevasti liikennemäärän suuruudesta.



Kuva 7. Tien näkemäolosuhteiden muodostumis-periaate 1500 on osuus, jolla näkemä on > 500m.

Välityskyky- ja nopeustarkastelujen puutteellisuuksien vuoksi ei toistaiseksi ole mahdollista esittää numeroarvoja näkemäolosuhteiden vaikutuksesta liikennetalouteen.

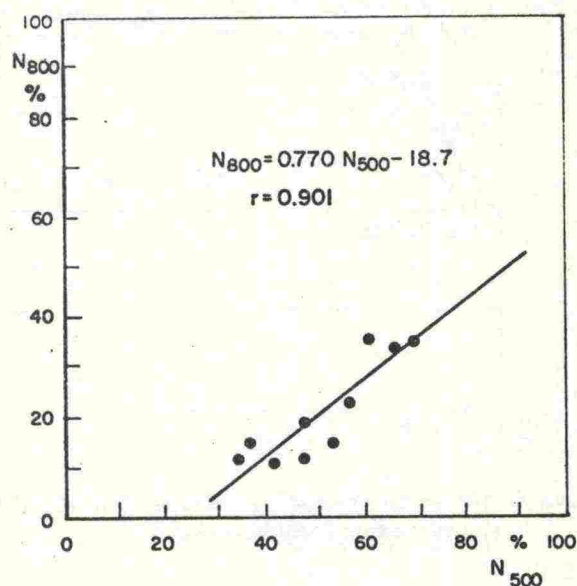
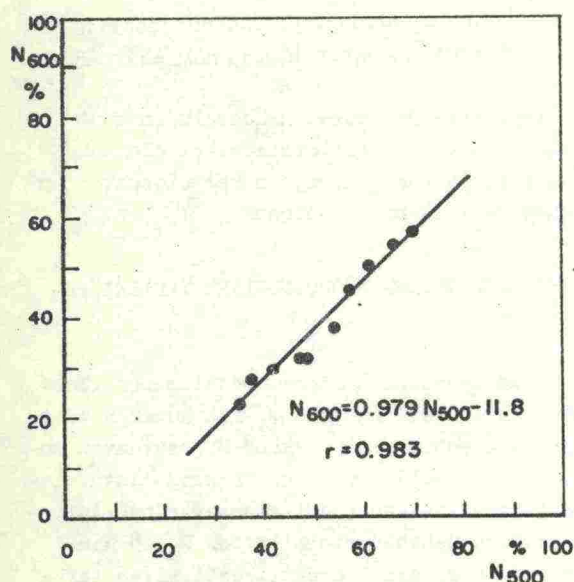
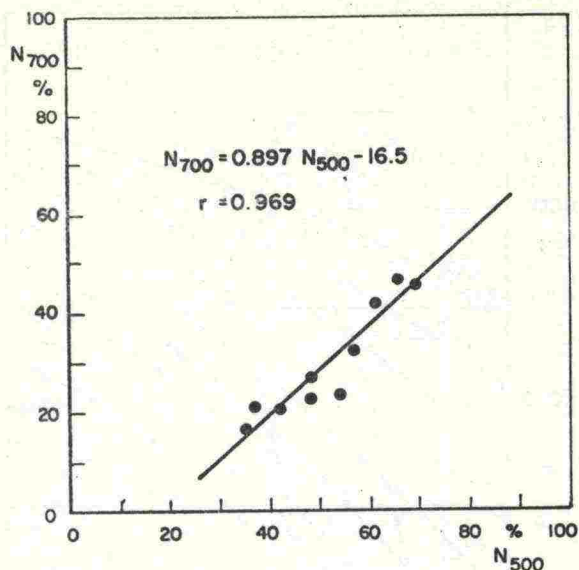
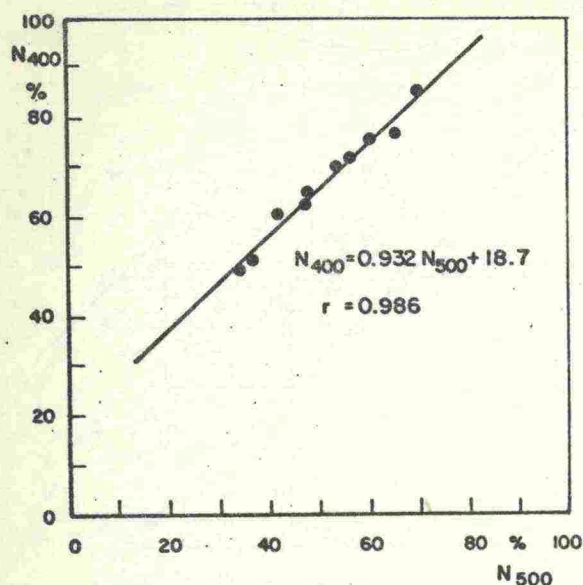
2. NÄKEMÄOLOSUHTEIDEN MUODOSTUMISEN YLEISET PERIAATTEET

Tien näkemäolosuhteiden muodostuminen ilmenee havainnollisesti kuvasta 7. Kun kuperan taitteen laelta avautuu pisin näkemä N_1 seuraavan kuperan taitteen laelle, pienenee näkemä tietä pitkin ajettaessa lineaarisesti seuraavan pyöristys-asteen antaman näkemän minimiarvoon N_2 45 %:n kulmassa. Kuva ei ole teoreettisesti aivan tarkka, sillä esim. N_1 :n ja N_2 :n sivuamispisteet eivät ole samat; tilanne on myös erilainen, jos vaaditaan näkemä tietyn korkeuteen esteeseen tai tien pintaan.

Näkemäolosuhteiden mitta-arvona käytetään tavallisesti tietyn pituisen, kuten 500 m:n näkemien osuutta. Kuvasta 7 käy havainnollisesti ilmi, kuinka tämä osuus eli näkemäprocentti N_{500} muodostuu, kun L on tarkastellun tien kokonaispituus.

$$N_{500} \% = \frac{\sum l_{500}}{L} \cdot 100$$

Kuvan 7 perusteella voidaan päätellä, että eripituisten näkemien osuudella täytyy olla tietty riippuvuus siten, että jos tunnetaan esim. 500 m:n näkemien osuus, voidaan arvioida, mikä on 600 m:n näkemien osuus. Tätä riippuvuutta voidaan tutkia näkemien pituuksien jakautumia osoittavien summakäyrien perusteella. Kuvassa 8 on määrätty 400 m:n, 600 m:n, 700 m:n ja 800 m:n



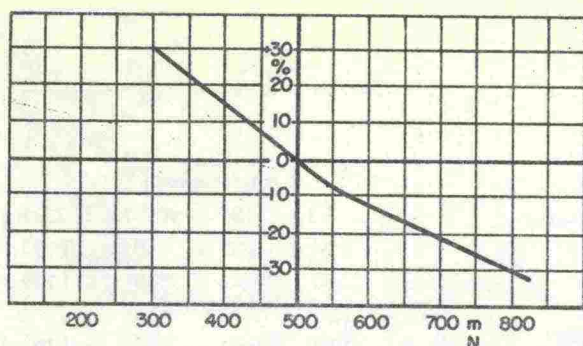
Kuva 8. Vähintään 400, 600, 700, 800 m:n näkemien osuuden (%) riippuvuus ≥ 500 m:n näkemien osuudesta.

näkemäprosentin riippuvuus 500 m:n näkemäprosentista tässä tutkimuksessa tarkasteltujen tieosien 1-10 näkemien summakäyrien perusteella (kuvat 24-26). Riippuvuus on varsin selvä, kuitenkin siten, että korrelaatiokerroin huononee sitä enemmän, mitä enemmän etsitty näkemä poikkeaa vertailuarvosta N_{500} %.

Jos vastaava riippuvuus määrätään mainittujen kymmenen havaintoarvon keskiarvoilla, voidaan kuvasta 9 todeta, että 500 m:n näkemäprosenttiin verrattuna on näkemäprosentti N_{600} keskimäärin 12 %-yksikköä pienempi ja näkemäprosentti N_{400} 15 %-yksikköä suurempi. Aineistossa on mukana linjaukseltaan hyvin erilaatuisia teitä (Helsinki-Porvoo, Tampere-Parkano) ja on mahdollista, että jos tarkasteltaisiin linjauk-

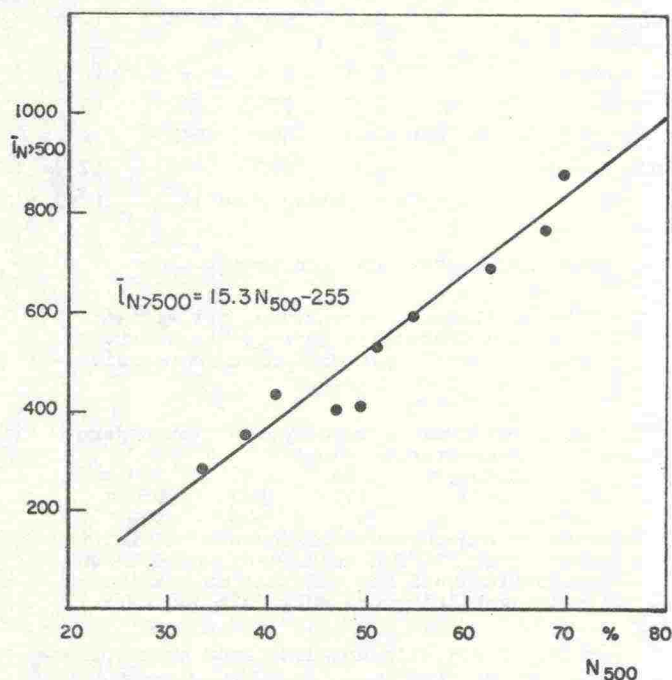
seltaan enemmän samanlaatuista teitä, olisivat korrelaatiokertoimet parempia, mutta myös saadut regressioyhtälöt hieman erilaisia.

Kuvan 7 perusteella voidaan myös päätellä, että niiden tieosien keskimääräinen pituus, jolla näkemä on tiettyä arvoa, esim. ohitusnäkemää, suurempi, täytyy riippua vastaavasta näkemäprosentista. Joskus (jopa saksalaisessa ohi-tustutkimuksessa (13) esitetään ajatus, että näkemäolosuhteita arvioitaessa on tutkittava, että se matka, jolla näkemä on vähintään ohitusnäkemän suuruinen, on tarpeeksi pitkä. Tätä asiaa on tutkittu kuvassa 10 tieosien 1-10 näkemädiagrammien perusteella, jolloin todetaan, että mitä suurempi on näkemäprosentti N_{500} , sitä suurempi on myös niiden tieosien keskimää-



Pystyakselin arvot osoittavat kuinka monta prosenttiyksikköä N :ää vastaavat näkemäprosentit eroavat 500 m:n näkemäprosentista.

Kuva 9 Eripituisia näkemiä vastaavien näkemäprosenttien välinen riippuvuus

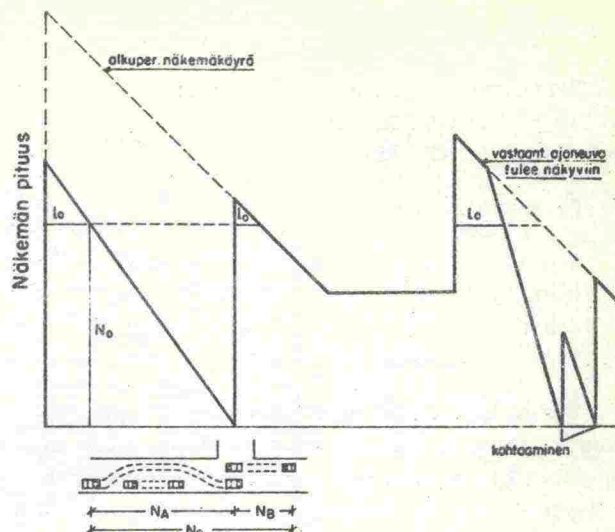


Kuva 10. Niiden osuuksien keskimääräinen pituus, jolla näkemä on 500m suurempi vastaavan näkemäprosentin funktiona.

räinen pituus, jolla näkemä on 500 m suurempi. Jos $N_{500} = 50 \%$, on keskimääräinen l_{500} 530 m eli tällaisen osuuden päättyessä on vielä 500 m:n näkemä.

Kuvassa 11 on esitetty, kuinka Åhmännin tutkimuksessa (14) on vastaantulevan liikenteen vaikutus tulkittu ohitusmahdollisuuksien kannalta näkemien pienenemiseksi. Mitä suurempi on liikennemäärä, sitä pienemmäksi tulee maaston aiheuttamien näkemäestöiden osuus.

Jos teiden näkemätarkastelujen päätarkoituksena on kontrolloida riittäviä ohitusmahdollisuuksia, on otettava huomioon myös liittymien kohdalla olevan ohituskiellon (sulkuviivat) vaikutus. Esim. HCM:ssä ei tästä näkökohdasta ole mitään mainintaa. (Kalifornian normien (38) mukaan ei liittymien kohdalla välttämättä ole sulkuviivoja.) Kuvassa 11 olen tehnyt ehdotuksen



Kuva 11. Vastaantulevan liikenteen ja liittymien vaikutus näkemäolosuhteisiin ohitusmahdollisuuksien kannalta.

siitä, kuinka yleisten teiden liittymät voitaisiin ottaa huomioon näkemätarkasteluissa. Esitys perustuu siihen oletukseen, että koska liittymän kohdalla on sulkuviiva, täytyy ohittajan ehtiä omalle kaistalleen ennen liittymää. Jos ohitusnäkemästä N_0 erotetaan erikseen ohittavan (N_A) ja vastaantulevan (N_B) kulkemat osuudet, on viimeinen ohitusnäkemä N_0 etäisyydellä N -liittymästä. AASHO:n tarkastelujen mukaan $N_A \sim 0.72 N_0$.

3. PYSÄHTYMIS- JA OHITUSNÄKEMÄN PITUUS

Tiesuunnittelutarkoituksia varten on erimaiden normeissa annettu numeroarvoja pysähtymis- ja ohitusnäkemän pituudelle ohjenopeuden funktiona. Pysähtymisnäkemän pituus riippuu niistä oletuksista, joita tehdään reaktioajasta (t) ja kitkasta (f) ja nopeudesta (v) joka tavallisimmin on sama kuin ohjenopeus (USA:ssa keskimääräinen ajonopeus). Kitkakerroimen arvo riippuu yleensä nopeudesta (poikkeuksena kuitenkin Ruotsin normit); samoin oletetaan Suomen ja Ruotsin normeissa, että reaktioaika riippuu nopeudesta. Norjan normeissa on oletettu, että reaktioaika riippuu tiettyypistä siten, että se moottoriteillä on 3 s., kaduilla 1.5 s. ja muilla teillä ja liittymissä 2.0 s. (7).

Reaktioaika ja kitkakerroin		ohjenopeus	
		60	80 km/h
Suomi, Vto	t	2.2	1.4
	f	0.39	0.35
Ruotsi, SVV	t	2.3	1.5
	f	0.50	0.50
Saksa, RAL	t	1.0	1.0
	f	0.39	0.31
USA, AASHO	t	2.5	2.5
	f	0.34	0.29

Seuraavan taulukon mukaan ei eri maiden normien pysähtymisnäkemillä ole kovin suuria eroja (15, 16, 17, 18).

Pysähtymisnäkemän pituus		50	80	100 km/h
Suomi, Vto		75	110	150 m
Ruotsi, SVV		75	100	125
Saksa, RAL		56	100	158
USA, AASHO		80	105	155

Vto:n ja AASHO:n arvot ovat hyvin samansuuruiset. Saksan normien pienet arvot pienillä ohjenopeuksilla aiheutuvat pienestä reaktioajasta ja Ruotsin normien pienet arvot suurilla ohjenopeuksilla aiheutuvat suuresta kitkakertoimesta. Mainittakoon, että Englannin normien arvot ovat kuitenkin jopa 50 % suuremmat kuin AASHO:n normien arvot (19).

Ruotsin uudessa tieohjelmassa Vägplan 1970 (41) on ehdotettu, että pysähtymisnäkemää laskettaessa lähdetään olettamuksista a) määrän ajoradan kitka ja nopeus 10 km pienempi kuin ohjenopeus b) nopeus, ohjenopeus ja kitka kaksi kertaa suurempi. Arvoista, jotka tosin ovat hyvin samansuuruiset, valitaan suurempi; reaktioaika on 2 s.

Ohitusnäkemän pituutta on tutkittu sekä teoreettisesti että käytännön kokeilla, mutta asia on osoittautunut varsin monitahoiseksi, koska jatkuvasti ilmestyy tutkimuksia, joissa on analysoitu ohitustapahtumaa. Taulukossa 1 on vertailtu eri maiden normien ja eri tutkijoiden esittämiä ohjearvoja ohitusnäkemän pituudelle, jolloin käy ilmi tulosten suuri hajonta. Vto:ssa annetut Suomen arvot ovat samat kuin Ruotsin normien arvot. Havaitaan, että Suomen arvot eroavat muista arvoista suuremman vaihteluvälin vuoksi siten, että suurempien ohjenopeuksien arvot ovat yleensä muita suurempia ja pienempien ohjenopeuksien arvot muita pienempiä. Kun Vto:n mukaan on vaihteluväli ohjenopeuksilla 60 km/h - 100 km/h lähes 500 m, on se liikenteestä tehtyihin havaintoihin perustuvien Stolzin, Netzerin ja Bitzl'in tutkimusten mukaan vain n. 100 m ja AASHO:n normien mukaan n. 200 m.

Erityisesti Ahmanin tutkimuksesta käy havainnollisesti ilmi, että ohitustapahtuma on varsin monitahoinen, eikä yksiselitteisen ohitusnäkemän määrittäminen ole helppoa. Tutkimus tehtiin siten, että koeauto ajoi nopeudella 60 km/h ja 80 km/h ja tästä koeautosta käsin filmattiin koeauton ohittaneiden ajoneuvojen käyttäytyminen ohitusilanteen aikana. Koeaineiston suuruus oli hieman yli 2000 ohitusta. Seuraava yhteenveto osoittaa, että suuri osa ohituksista tapahtuu ns. lentävällä lähdöllä, kun taas teoreettisissa tar-

Taulukko 1. Ohitusnäkemän pituuksia eri tutkimusten mukaan.

		ohjenopeus			
		60	80	100 km/h	lähde
Vto ¹⁾		290 m	490 m	760 m	(15)
RAL	norm.	350	450	600	(17)
	red.	250	300	400	
AASHO ²⁾		430	550	660	(18)
Stolz ³⁾		515	570	615	(20)
Netzer	norm.	720	790	860	(21)
	min.	505	565	630	
Bitzl		530	590	645	(22)
Gauss-Rautenstrauss ⁴⁾		345	440	585	(22)
		625	1015	1480	(21)
Eberan von Eberhorst		445	590	740	(21)
Blaschke		335	740	-	(23)
Norja	1 ohit.	250	350	450	(7)
"	2 ohit.	280	400	510	
Crawford ⁵⁾		190	290	440	(21)
Ahman		katso kuva 12			(24)

1) Samat kuin Ruotsin normien arvot.

2) V. 1954 laitokseen verrattuna ovat v. 1965 laitoksessa suurempien ohjenopeuksien arvot hieman pienempiä, pienempien ohjenopeuksien arvot hieman suurempia.

3) Stolzin tutkimuksen arvot perustuvat ohjenopeuteen seuraavasti:

ohitusnopeus	60	80	100 km/h
normaali	515	580	650 m
minimi	470	500	540 "

Ohitus ja ohjenopeuden riippuvuus on oletettu samaksi kuin AASHO:n normeissa. Ohitusnopeuden määrittelyksi hän ehdottaa nopeuksien mediaania, maksimiarvona kuitenkin 100 km/h.

4) Bitzl'n ja Netzerin antamat arvot ovat erilaiset.

5) Crawford ei ole tutkimuksessaan (25) tutkinut varsinaista ohitusnäkemää, vaan koehenkilön avulla niitä aikavälejä, jolloin he vielä lähtisivät ohittamaan vastaantulevan auton läheisyydessä. Esitetyt arvot ovat Netzerin kehittämät.

kasteluissa usein oletetaan, että ohitus alkaa tilanteessa, jossa ohittaja on joutunut jättäytymään ohitettavan taakse (ohitus kiihdyttämällä).

		koeauton eli ohitettavan nopeus			
		60 km/h		80 km/h	
ohituksen laatu	näkemästä	yhden ajon. ohitus	us. ajon. ohitus	yhden ajon. ohitus	us. ajon. ohitus
lentävällä lähdöllä	maastoeste vast.tuleva ajon.	47.4 % 10.8	6.9 % 0.9	46.8 % 9.7	3.6 % 1.4
	yht.	66.0 %		61.5 %	
kiihdyttämällä	maastoeste vast.tuleva ajon.	25.9 % 4.3	3.5 0.2	31.2 % 3.3	3.9 % 0.2
	yht.	34.0 % 100 % 1536 kpl		38.6 % 100.1 % 466 kpl	

seuraavat nopeusrajoituksista, tien leveydestä ja suunnitteluajankohdasta riippuen:

luokka	ajoradan leveys	näkemä	huomautuksia
A	7.0 m 6.0	240 m	suunniteltu v. 1955 tai myöhempien ohjeiden mukaan
B	≥ 6.0	195	nopeusrajoitus > 70 - 90 km/h
C	5.5-5.9	160	nopeusrajoitus > 50 - 70 km/h
D		120	nopeusrajoitus ≤ 50 km/h

Sveitsissä on perusteena näkemä N (m) ~ 2 · V_{ajon} (km/h). Myös YK:n ohjeet sulkuviiivojen maalaamisesta ovat varsin väljät, sillä 85 %:n nopeuden mukaan suositellaan seuraavia arvoja (44)

V	N
100 km/h	160-320 m
80	130-260 "
65	90-180 "
50	60-120 "

Esitettujen tulosten mukaan voidaan päätellä, että sulkuviiivojen maalausperusteet toistaiseksi ovat suhteellisen epämääräiset, joten asiaa olisi aihetta ryhtyä yksityiskohtaisemmin tutkimaan.

Ohitustapahtuman monitahoisuutta osoittaa vielä se, että Steierwald on ajodynaamisilla tarkasteluilla osoittanut, että tarvittava ohitusnäkemä nousussa riippuu suuresti siitä, onko edessä raskas tai kevyt kuorma-auto (26). Stolz on myös todennut, että kun henkilöauto ohittaa kuorma-auton, vaaditaan pidempi näkemä kuin jos henkilöauto ohittaa henkilöauton (20).

Saksan normeissa esiintyy ns. redusoitu ohitusnäkemä, joka tarkoittaa sellaista näkemää, joka on tarpeen, jotta ajoneuvo vasemmalle kaistalle siirtymisen jälkeen voisi päätellä, onko ohitus mahdollinen vai palaako hän takaisin oikealle kaistalle ohitettavan taakse. Tämänlaatuinen ajattelutapa on myös AASHO:n laskelmien perustana. Ahmanin tutkimuksessa kävi kuitenkin ilmi, että tällaista ohituksen peruuttamista tapahtuu äärimmäisen harvoin (kaksi ohitusta koko aineistosta). Netzer on myös arvostellut redusoitua ohitusnäkemää seuraavilla perusteilla (21):

- hitaiden ajoneuvojen taakse kerääntyy jonoja ja jos liikennemäärät ovat suuret, ei ole enää mahdollisuutta palata takaisin
- jos kaksi tai useampia ajoneuvoja lähtee ohittamaan jonoa, ei ensimmäinen voi palata takaisin jonoon
- ohittava jarruttaa päästäkseen oikealle kaistalle takaisin, mutta myös ohitettava voi jarruttaa helpottaakseen ohitusta, jolloin paluu oikealle kaistalle vaikeutuu

- mikäisessä maastossa on kiihdytyskyky pieni ja vastaantuleva voi tulla hyvin nopeasti, jolloin redusoitu näkemä on riittämätön.

Jos Vto:n ohitusnäkemää haluttaisiin tarkistaa, voitaisiin edelleen esitetyn taulukon perusteella harkita ohjenopeuksille 60 km/h...100 km/h tasavälistä jakoa välille 400 m...600 m, 400 m...650 m, 500 m...600 m tai 500 m...650 m.

Ahmanin tutkimuksen eräänä tarkoituksena oli perusaineiston hankkiminen liikenteen simulointia varten. Olisi toivottavaa, että liikennevirran käyttäytymisen lainalaisuudet tunnettaisiin siten, että ilman empiirisiä tutkimuksia voitaisiin tietää, kuinka liikenne tietyssä tie- ja liikenneolosuhteissa käyttäytyy. Ohitustapahtumaa on pyritty tutkimaan myös matemaattisesti, mutta se johtaa hyvin monimutkaisiin tarkasteluihin ja tämänlaatuisessa käsittelyssä on vasta päästy alkuun (27, 28).

4. SILMÄPISTEEN JA HAVITTAVAN KOHTEEN KORKEUDEN VAIKUTUS PYÖRISTYSSÄTEIDEN SUURUUTEEN JA NÄKEMIEN PITUUTEEN

Kuperan taitteen pyörityssäteiden suuruus määrittyy tarvittavan näkemän pituuden, silmäpisteen ja havaittavan kohteen korkeuden perusteella seuraavan kaavan mukaisesti, kun näkemä on pienempi kuin kaaren pituus:

$$(1) S = \frac{N^2}{2(\sqrt{a} + \sqrt{b})^2}$$

S = pyörityssäde
N = näkemän pituus
a = silmäpist. korkeus
b = kohteen korkeus

Silmäpisteen ja kohteen korkeudesta on eri maiden normeissa tehty seuraavia oletuksia (15, 16, 17, 18, 29):

	a	b	pys.näk.	ohit.näk.
Suomi, Vto	1.2 m	0.1 m		1.2
Ruotsi, SVV	1.2	0.0(0.2)		1.4
Saksa, RAL	1.2	0.0		1.2
Sveitsi, VSS	1.1	0.1		1.1
USA, AASHO(1954)	1.37	0.10		1.37
" AASHO(1965)	1.14	0.15		1.37

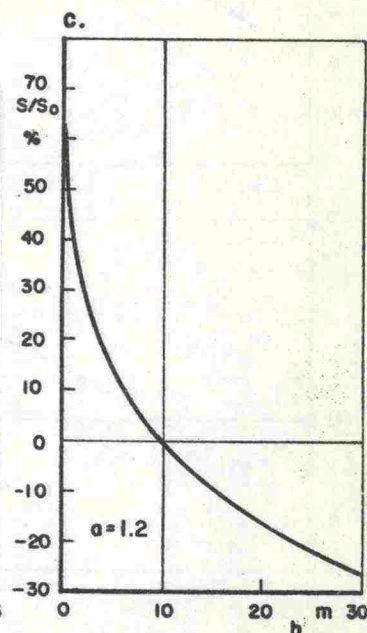
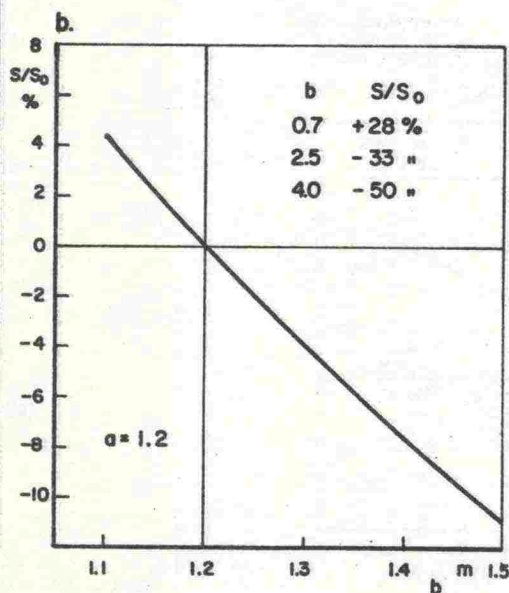
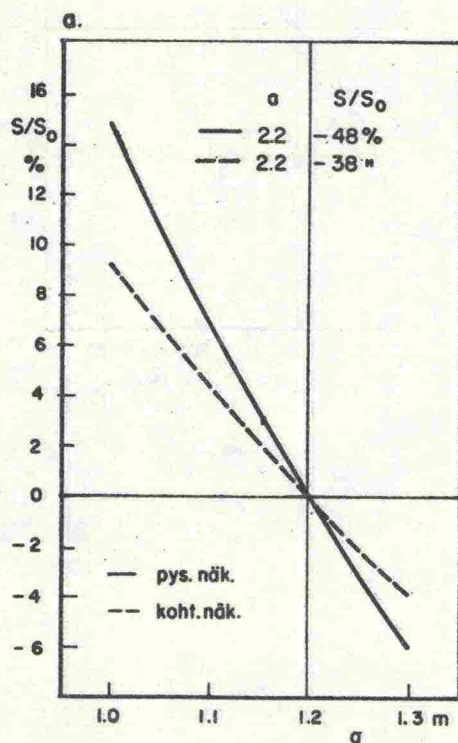
Aikaisemmin käytettyjä ohjearvoja on syytä jatkuvasti tarkistaa käytännössä tapahtunutta kehitystä vastaavaksi tutkimalla kuitenkin samalla, onko havaitulla muutoksella sanottavaa vaikutusta laskettaviin suureisiin. Ohjearvoja valittaessa joudutaan myös aina tutkimaan suureiden jakautumaa siten, että yleensä ei ole tarkoituksenmukaista ottaa suunnittelun lähtökohdaksi esim. pientä auton korkeutta vaan korkeus, jota pienempiä autoja on suhteellisen vähän. Seuraavassa ei ole tarkoitus tutkia ohjearvoja tarkemmin, vaan todeta niiden yleinen suuruusluokka sekä tarkastella niiden suuruuden vaikutusta pyörityssäteiden suuruuteen ja näkemiin.

Viime vuosikymmenien aikana on henkilöauton ja samalla silmäpisteen korkeus pienentynyt ja esim. AASHO:n normien uusimmassa laitoksessa se on aikaisempaa pienempi eli 1.14 m. Saksalaisen Durth'in tutkimusten mukaan keskimääräinen silmäpisteen korkeus henkilöautoilla on 1.18 m ja pienimmät arvot 1.06 m (30). Hiersche on todennut, että keskipituisen naisen ollessa kuljettajana silmäpisteen korkeus pienimmillä autoilla on 1.04 m (31). Ilmeisesti myös meillä on aiheellista pienentää korkeutta esim. arvoon 1.15 ja tri Hartikaisen tutkimuksista lienee tarkempia tietoja saatavana.¹⁾

Pysähtymisnäkemää laskettaessa vaihtelee havaittavan esteen korkeus eri normeissa 0...20 cm. Ohjearvon valitseminen on suuressa määrin sopimuksenvarainen asia. Ruotsin normeissa on normaali (0) ja poikkeuksellinen arvo (20 cm) ja Ohion normeissa käytetään arvoa 10 cm moottoreilla ja 15 cm muilla teillä (36).

Kohtaamis- ja ohitusnäkemää laskettaessa oletetaan meillä silmäpisteen ja ajoneuvon korkeus samaksi, mikä ei vastaa todellisuutta, koska auton katon korkeuden täytyy olla n. 20...25 cm suurempi. Hiersche'n tutkimuksissa mainitun pienimmän auton korkeus oli 1.21 m ja Durth'in tutkimusten mukaan keskimääräinen korkeus on 1.37 m eli sama kuin AASHO:n normeissa. Mikäli

¹⁾ Tämän tutkimuksen jälkeen ilmestynyt O-P. Hartikainen: Henkilöauton kuljettajan silmäpisteenkorkeus.



siis ajoneuvon korkeudessa pyritään vastaavaan tarkkuuteen kuin silmäpisteen korkeudessa, olisi sitä syytä meillä suurentaa ellei sitten ajatella, että ollakseen havaittava täytyy autosta näkyä tietty määrä. Bollmann on esittänyt, että liittymien näkemäalueita laskettaessa kohteen korkeudeksi on oletettava 0.7 m (32). Edempänä käy ilmi, että auton korkeudella on varsin pieni merkitys laskettaviin suureisiin, joten symmetrisyyden vuoksi lienee perusteltua olettaa silmäpisteen ja auton korkeus samaksi.

Kuvassa 13 on esitetty, kuinka suuri vaikutus on silmäpisteen ja havaittavan kohteen korkeudella pyörityssäteiden suuruteen nykyisiin Vto:n arvoihin (S_0) verrattuna. Edellä esitetyn kaavan (1) perusteella saadaan silmäpisteen korkeuden suhteellinen vaikutus nykyiseen pysähtymisnäkemän säteeseen kaavasta:

$$(2) \quad \frac{S}{S_0} = \frac{(\sqrt{1.2} + \sqrt{0.1})^2}{(\sqrt{a} + \sqrt{0.1})^2}$$

Vastaava kaava kohteen korkeuden vaikutukselle on:

$$(3) \quad \frac{S}{S_0} = \frac{(\sqrt{1.2} + \sqrt{0.1})^2}{(\sqrt{1.2} + \sqrt{b})^2}$$

Jos silmäpisteen korkeudeksi oletetaan 1.15 m, suurentaa se pysähtymisnäkemän vaatimaa pyörityssädettä 3 % ja kohtaamis- ja ohitusnäkemäsädettä 2 % (kuva 13a), joten sen vaikutus on vähäinen verrattuna siihen, mitä oletukset kohteen korkeudesta (b) ja itse näkemän pituudesta (N) vaikuttavat. Näkemän pituus taas riippuu reaktioajasta, kitkasta ja nopeudesta tehdyistä oletuksista, jotka miltei sopimuksenvaraisesti voi-

Kuva 13. Silmäpisteen ja kohteen korkeuden suhteellinen vaikutus nykyisten normien arvoilla laskettuihin pysähtymis- ja kohtaamisnäkemän edellyttämiin pyörityssäteisiin.

daan valita siten, että näkemä kasvaa esim. 20 %, jolloin pyöristyssäde kasvaa 44 %. Jos ajoneuvon korkeudeksi oletetaan 1.35 cm, pienenee säde 6 %. Jos kohtaamisnäkemää laskettaessa ajoneuvon korkeudeksi oletetaan 1.35 cm, pienenee säde 6 % (kuva 13b) ja jos näkemä vaadittaisiin 0.7 m korkeaan esteeseen, kasvaisi säde 28 %, kun taas näkemävaatimus 4 m korkeaan kuorma-auton pienentäisi sädettä 50 %.

Silmäpisteen ja ajoneuvon korkeudesta tarvitaan tietoja myös liittymien ja teiden kaarreohtien näkemäalueita laskettaessa. Jos silmäpisteen korkeus pienenee 5 cm, pienentää se näkemäleikkausten korkeustasoa 2.5 cm nykyiseen verrattuna $1/2(1.15 + 1.2)$ ja jos taas kohteen korkeus on 1.35 cm, kasvaa korkeustaso 7.5 cm. Arvot ovat suhteellisen pieniä, kun otetaan huomioon se tarkkuus, millä lumen ja kasvillisuuden vaikutus voidaan ottaa huomioon.

Edellisistä tuloksista poiketen kuva 13c osoittaa, että pysähtymisnäkemän edellyttämää sädettä laskettaessa on olettamuksella kohteen korkeudesta ratkaiseva vaikutus. Jos näkemä vaaditaan ajoradan pintaan, pitää pyöristysasteen olla 67 % suurempi kuin jos se vaaditaan

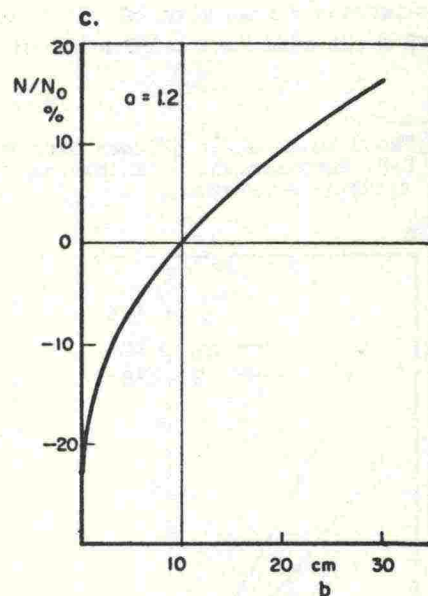
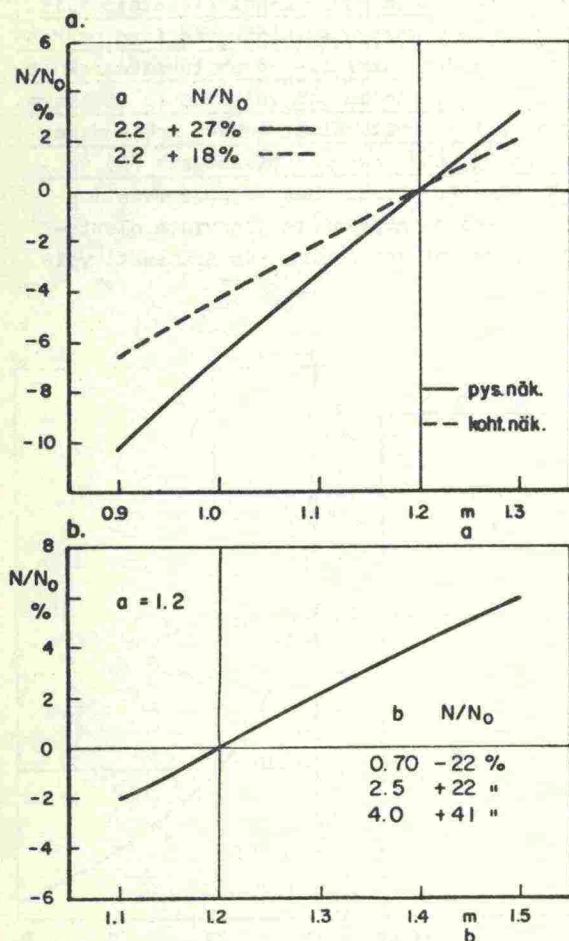
10 cm korkeaan esteeseen. Jos esteen korkeus kasvaisi 15 cm:iin, pieneneisi säde enää vain n. 10 %, joten muutos on erityisen jyrkkä välillä 0...10 cm. Tärkeätä on huomata, että jos pysähtymisnäkemä vaadittaisiin ajoradan pintaan, on sen vaatima pyöristyssäde sama kuin kohtaamisnäkemän vaatimus (olettamalla, että kaavassa (1) $N = 2 \times$ pysähtymisnäkemä ja $a = b$). Pysähtymisnäkemää laskettaessa tehdyt oletukset ovat erityisen tärkeitä siksi, että ne määrittävät ehdottoman minimin.

Kuvassa 14 on vielä tutkittu silmäpisteen ja havaittavan kohteen korkeuden vaikutusta näkemien pituuteen nykyisiin arvoihin verrattuna (N_0). Silmäpisteen korkeuden suhteellinen vaikutus pysähtymisnäkemän suuruuteen saadaan kaavasta:

$$(4) \quad \frac{N}{N_0} = \frac{\sqrt{a} + \sqrt{0.1}}{\sqrt{1.2} + \sqrt{0.1}}$$

Vastaava kaava kohteen korkeuden vaikutukselle on:

$$(5) \quad \frac{N}{N_0} = \frac{\sqrt{1.2} + \sqrt{b}}{\sqrt{1.2} + \sqrt{0.1}}$$



Kuva 14. Silmäpisteen ja kohteen korkeuden suhteellinen vaikutus nykyisten normien arvoilla laskettuihin pysähtymis- ja kohtaamisohitus näkemän pituuksiin.

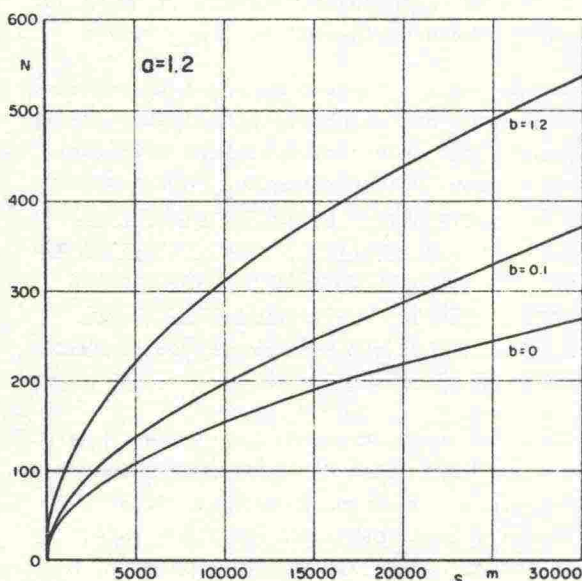
Silmäpisteen korkeuden pieneneminen 5 cm pienentää pysähtymis- ja kohtaamisnäkemää 1 - 2 % (kuva 14a). Silmäpisteen korkeudella on siten varsin pieni merkitys näkemän pituuteen, kun vielä otetaan huomioon se epämääräisyys, jolla näkemän pituus kuperan taitteen kohdalla voidaan arvioida. Henkilöauton kuljettajaan verrattuna on 2.2 m:n korkeudella katselevalla kuorma-autonkuljettajalla on 27 % suurempi pysähtymisnäkemä ja 18 % suurempi kohtaamisnäkemä.

Jos ajoneuvon korkeus on 1.35 m, kasvaa kohtaamis- ja ohitusnäkemä 3 % (kuva 14b) ja näkemä 4 m korkeaan kuorma-autoon on 41 % suurempi. Näkemä ajoradan pintaan on 23 % pienempi kuin näkemä 10 cm korkeaan esteeseen ja 15 cm korkeaan esteeseen 5 % suurempi (kuva 14c).

Kuvassa 15 on lopuksi esitetty, kuinka suuria näkemät absoluuttisesti ovat, kun korkeus vaihtelee. Näkemän pituus saadaan kaavasta:

$$(6) \quad N = (\sqrt{a} + \sqrt{b}) \sqrt{2R}$$

On korostettava kohtaamis- ja ohitusnäkemälaskelmien teoreettista luonnetta kuperien taitteiden kohdalla, koska autoilija ei kovinkaan tarkasti pysty arvioimaan näkemän pituutta 1.2 korkeaan, muuten 'piilossa' olevaan kohteeseen. Ohion suunnitteluohjeissa (36) korostetaan, että kaikkein tärkeintä on näkemä ajoradan pintaan. Kuva 15 osoittaa, että esim. 240 m:n näkemän saavuttamiseksi ajoradan pintaan tarvittaisiin pyöristyssäde 24 000 m, kun 1.2 m:n korkeuden havaitsemiseksi riittäisi säde 6000 m.



Kuva 15. Pyöristyssäteiden suuruuden ja kohteen korkeuden vaikutus näkemän pituuteen kuperan taitteen kohdalla

Tiensuunnittelussa on tarkkailtava näkemää myös vaakakaarteiden kohdalla silloin, kun näkemää rajoittaa este kuten leikkausluiska. Jos a on etäisyys näkemää rajoittavaan esteeseen, saadaan näkemä kaavasta:

$$(7) \quad N = \sqrt{8dR}$$

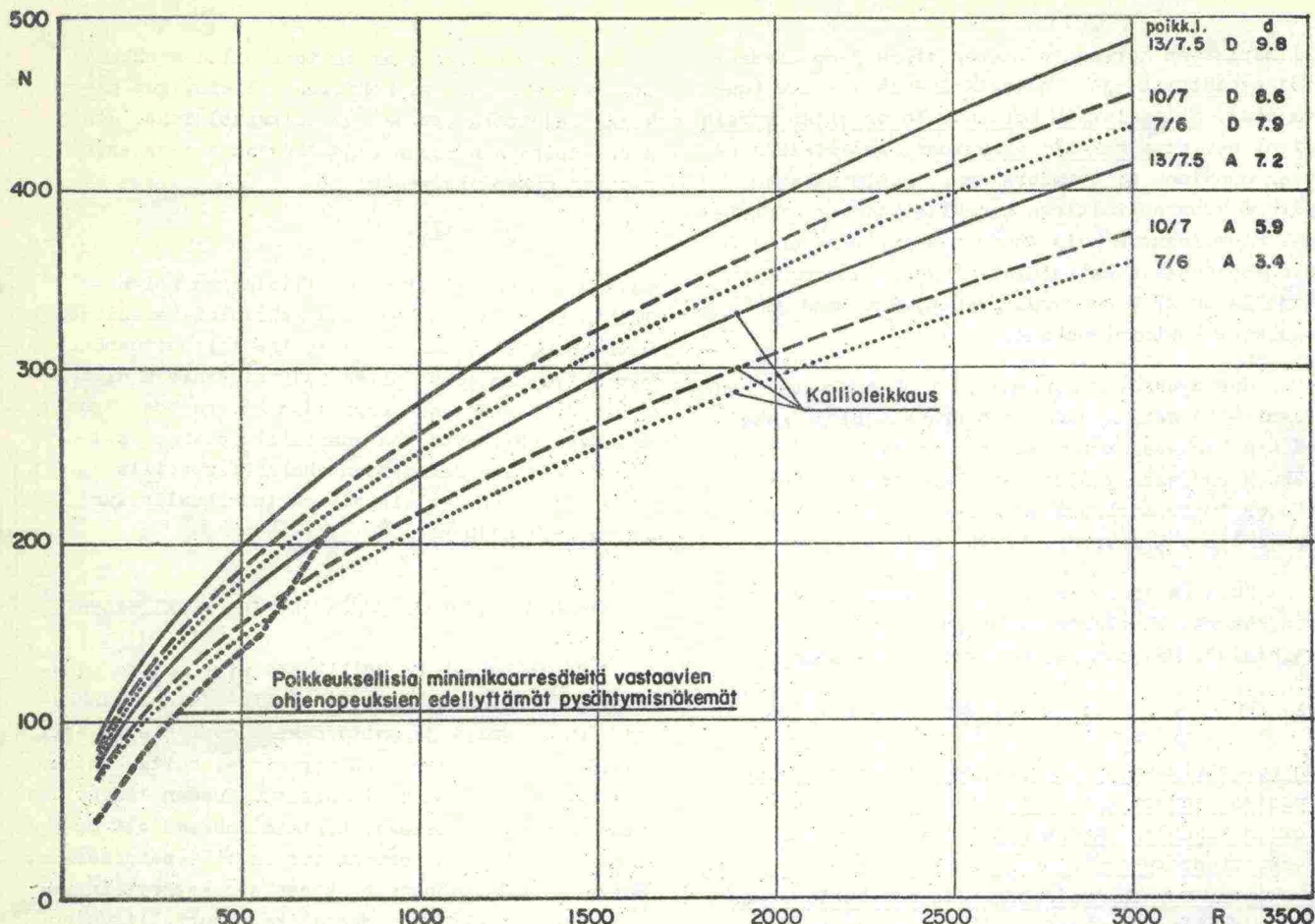
Kuvassa 16 on esitetty tavallisimpien poikkeileikkauksien käyrät maa- ja kalliroleikkauksissa. Havaitaan, että saman kohtaamis- tai ohitusnäkemän saavuttamiseksi pitää pyöristyssäteiden olla 6.5 - 7.5 kertaa suurempi kuin kaarresäde. Myös todetaan, että Vto:ssa annetuilla poikkeuksellisillakin kaarresäteiden vähimmäisarvoilla saavutetaan kalliroleikkaustenkin kohdalla kun ohjenopeus < 110 km/h.

5. NÄKEMIEN PITUUDEN NUMEROARVOJEN MERKITYKSESTÄ

Vto:n mukaan on meillä käytetty kolmea näkemätyyppiä, pysähtymis-, kohtaamis- ja ohitusnäkemää. Pysähtymis- ja ohitusnäkemä ovat tietävästi käytössä kaikkien maiden normeissa, mutta kohtaamisnäkemä on ilmeisesti mainittu Suomen lisäksi vain Ruotsin normeissa. Kohtaamisnäkemä oli mukana vielä Saksan normien vuoden 1959 painoksessa, mutta ei enää myöhemmin, koska sen katsottiin perustuvan tapaukseen, joka liikenneturvallisuuden kannalta on arveluttava. Ilmeistä käyttöä sillä kuitenkin on yksikaistaisilla teillä. Vägplanissa 1970 on kuitenkin edelleen ehdotettu, että tielinjauksen minimivaatimus on kohtaamisnäkemä (41).

Pysähtymisnäkemä on siinä suhteessa tärkeä, että se määrää näkemäolosuhteiden ehdottoman minimin eli tiellä on joka paikassa oltava vähintään pysähtymisnäkemä. Kun pysähtymisnäkemän perusteella lasketaan kuperan taitteen minimipyöristyssäde, vaikuttaa asiaan olettaen silmäpisteen ja erityisesti havaittavan esteen korkeudesta, joten itse näkemän pituus vaikuttaa vain osaksi asiaan. Jos näkemä vaaditaan tien pintaan, merkitsee se samalla kohtaamisnäkemän saavuttamista ja sädettä, joka on lähes 70 % suurempi kuin pysähtymisnäkemän vaatimus. Kaavan (1) mukaan kasvaa säde suhteessa näkemän neliöön. Edellä on myös todettu, että leikkauksessa olevien minimikaarresäteiden kohdalla on pysähtymisnäkemän suuruusluokkaa oleva näkemä aina olemassa. Pysähtymisnäkemää tarvitaan vielä liittymien näkemäalueita laskettaessa.

Vto:ssa on myös annettu pyöristyssäteet ohitusnäkemän saavuttamiseksi, mutta tätä tarkoitusta varten on ohitusnäkemän merkitys suhteellisen pieni, koska suuremmilla ohjenopeuksilla ei kuperan taitteen kohdalla yleensä ole mahdollista saada niin suurta sädettä ellei pituuskaltevuuk-



Kuva 16. Leikkauksen kohdalla olevan näkemän pituuden riippuvuus kaarresäteen suuruudesta

sien ero ole hyvin pieni. Silloin tulotaisiin myös toimeen Vto:n arvoa pienemmillä, taitekulman suuruudesta riippuvilla säteillä:

$$(8) \quad S = \frac{2N}{m} - \frac{2(\sqrt{a} + \sqrt{b})^2}{m^2}$$

Seuraavassa on vertailtu taitekulman vaikutusta kohtaamisnäkemän edellyttämään pyöristyssäteeseen.

V_0	koht.näkemä	$m^1)$	S	$m^2)$	S
80 km	220 m	2.0 %	4900	1.2 %	2000
100	300	1.6	9500	0.9	4000

1) pituuskaltevuuksien summa tai erotus $m = s_1 \pm s_2$, jota suuremmilla arvoilla Vto:n arvo pätee eli kun pyöristyskaaren pituus on suurempi kuin kohtaamisnäkemä

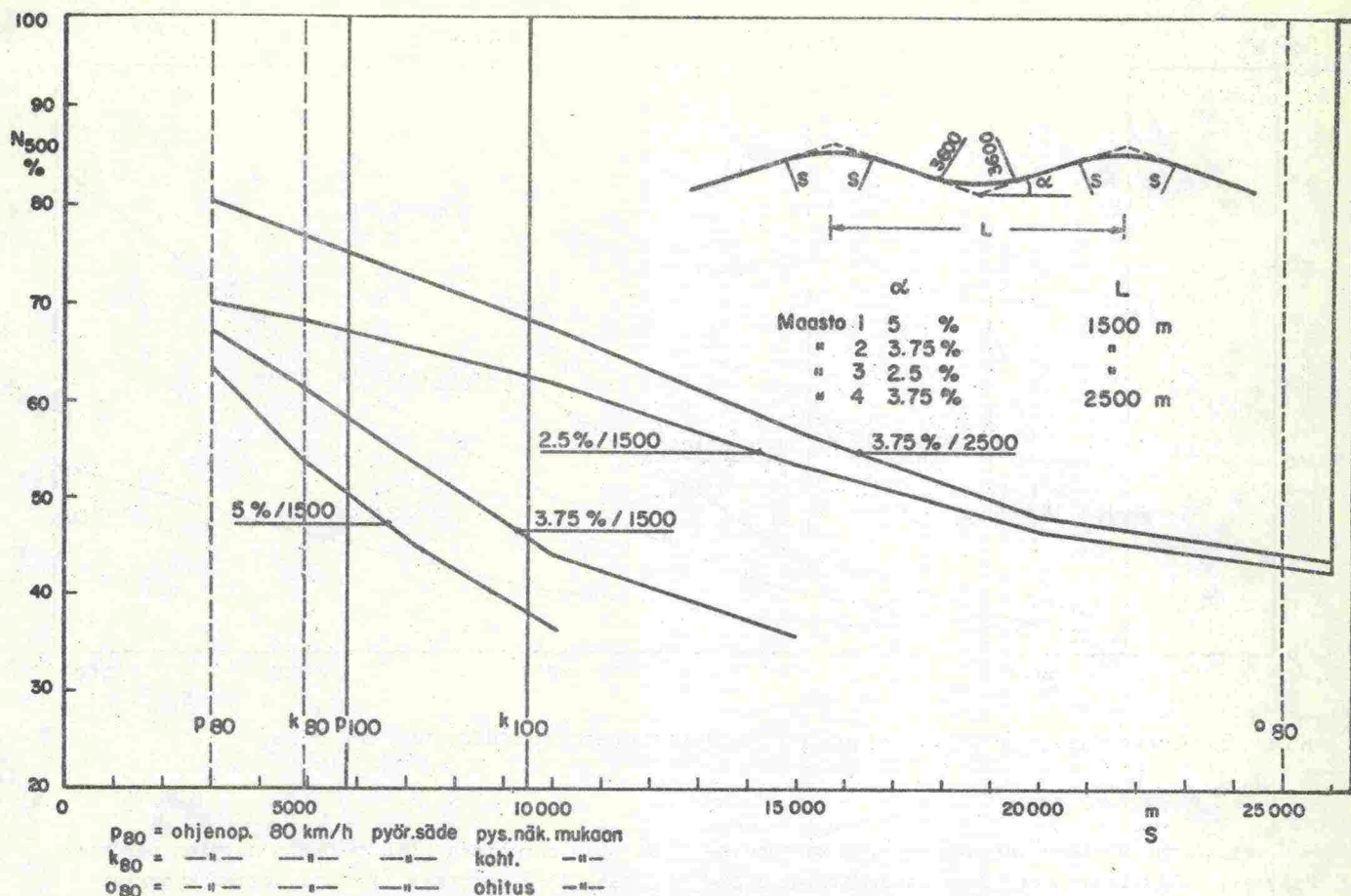
2) esimerkki pienien taitekulmien vaikutuksesta tarvittavan S:n suuruuteen

Ilmeisesti tämän tapauksen käytännöllinen merkitys on pieni, sillä jos taitekulmat ovat pienet, on helppoa sijoittaa suurempikin säde; Vto:ssa ja Saksan normien uusimmassa laitoksessa (17) ei ole katsottu tarpeelliseksi tapausta käsitellä. Aikaisemmin on myös jo todettu, että kohtaus- ja ohitusnäkemän merkitys kuperan tait-

teen kohdalla on siinä suhteessa teoreettinen, että kuljettajien on vaikeata arvioida, mikä on todellinen näkemä vastaantulevaan ajoneuvoon.

Paitsi pyöristyssäteiden määrittämistä varten tarvitaan arvoa ohitusnäkemän pituudesta, jos sitä käytetään tien näkemäolosuhteiden arvioinnin perusteena kuten Saksan normeissa on tehty (vrt. kohta 7). Ohitusnäkemän kovin tarkalla arvolla ei kuitenkaan ole merkitystä ennen kuin voidaan nykyistä tarkemmin määritellä vaadittavan ohitusnäkemäprosentin suuruus, jota on tutkittu varsin vähän verrattuna siihen, mitä itse ohitusnäkemää on tutkittu.

Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella voidaan määrätä näkemäprosenttien ja näkemäpituuksien välinen riippuvuus. Kuvan 9 perusteella voidaan päätellä, että jos esim. 600 m:n näkemä on tiellä tietty prosentti, on 650 m:n näkemä keskimäärin viisi prosenttiyksikköä vähemmän. Jos oletetaan, että ohjenopeuden 100 km/h ohitusnäkemä on 600 m ja vaaditaan, että vähintään 35 %:lla tiestä on ohitusnäkemä, olisi vastaava luku 30 %, jos ohitusnäkemän pituudeksi määriteltäisiin 650 m.



Kuva 17. Näkemäprosentin N_{500} riippuvuus pyöristysväiteen suuruudesta teoreettisessa maastossa

6. PYÖRISTYS- JA KAARRESÄTEIDEN SUURUUDEN VAIKUTUS NÄKEMÄOLOSUHTEISIIN

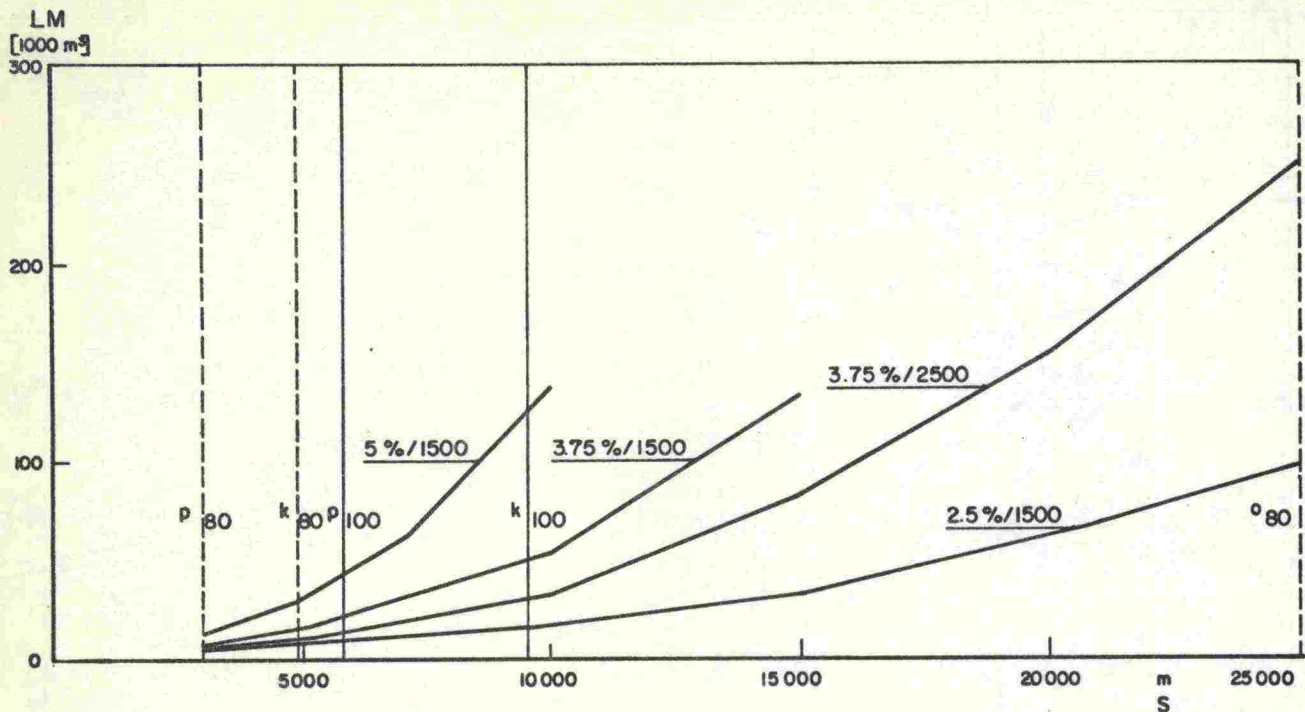
Koska erityisesti kuperat taitteet rajoittavat näkemiä, on aiheellista tutkia, mikä merkitys on pyöristysväiteiden suuruudella tien näkemäolosuhteisiin. Yksinkertaisuuden vuoksi on tarkasteltu tehty teoreettisella maastolla siten, että linjaus oletetaan vaakatasossa täysin suoraksi ja maaston pituusleikkaus symmetriseksi murtoviivaksi kuvan 17 mukaisesti. Maaston laatua osoittavat nousuprosentti (α) ja murtoviivan harjapisteiden väli (L).

Kuvassa 17 on esitetty vähintään 500 m:n näkemien osuuden riippuvuus pyöristysväiteen suuruudesta. Todetaan, että näkemäprosentti N_{500} pienenee pyöristysväiteen kasvaessa ellei säde sitten ole niin suuri, n. 26 000 m, että myös kaaren kohdalla saavutetaan 500 m:n näkemä (silmäpisteen ja havaittavan kohteen korkeus = 1.2 m). Ilmiön luonnollisena selityksenä on, että pyöristysväiteen kasvaessa myös kaaren pituus kasvaa ja harjapisteiden välissä olevan suoran ja koveran osuus jolla näkemät ovat hyvät pienenee. Erityisen suuri näkemäprosentin pieneneminen on jyrkässä maastossa.

Vto:n ohjeiden mukaan pitäisi tiensuunnittelussa pyrkiä ohitusnäkemään, jos se ei ole mahdollista, niin kohtaamisnäkemään ja pysähtymisnäkemään on ehdoton minimi. Jos vertailuarvoksi otetaan näkemäprosentti, kun säde on valittu pysähtymisnäkemään mukaan, pienenee näkemäprosentti N_{500} maastossa 2 (3.75 %/1500 m) kuvan 17 mukaan säteiden kasvaessa seuraavasti:

ohjenop. (km/h)	pys.näk. S (m)	N ₅₀₀ (%)	koht.näk. S (m)	erotus (%-yks.)	S (m)	erotus (%-yks.)
80	3000	67	4900	-6	15000	-31
100	5800	58	9500	-12	15000	-22

Kun esim. tämän tutkimuksen tieosilla 11-14 on käytetty suhteellisen paljon 15000-20000 m:n pyöristysväiteitä, on siitä epäilemättä aiheutunut huomattava näkemäprosentin N_{500} pieneneminen. Kuvasta 17 havaitaan myös, että suurin säde, joka voidaan sijoittaa maastoon, on 15000 m, kun ohjenupeuden 80 km/h ohitusnäkemävaatimus olisi 25000 m. Ainoastaan siinä tapauksessa, että α kulma on hyvin pieni, on käytännössä yleensä mahdollista käyttää ohitusnäkemään edellyttämiä arvoja.



Kuva 18. Leikkauskustonnusten riippuvuus pyörityssäteen suuruudesta.

Pyörityssäteiden valinta on myös kustannuskysymys, sillä suuremmat säteet suurentavat leikkausmassoja. Kuvasta 18 todetaan, että säteen kasvaessa kasvavat leikkauskustannukset voimakkaammin kuin lineaarisesti. Jos siis linjausta arvostellaan pelkästään tietyn näkemäprosentin, kuten N_{500} tai ohitusnäkemäosuuden kannalta, huononnetaan suuremmilla kustannuksilla näkemäolosuhteita.

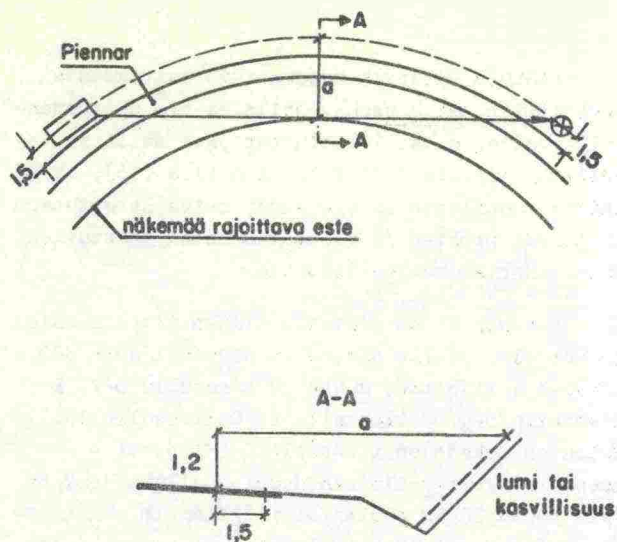
Johtopäätös edellä esitetystä on, että mahdollisimman suuriin näkemäprosentteihin pyrittäessä olisi käytettävä niin pieniä pyörityssäteitä kuin mahdollista, mikä samalla merkitsee, että itse kuperien taitteiden kohdalla tulevat näkemät huonommiksi; silloin tosin myös näiden kuperien pyörityskaarien pituus lyhenee. Tämänlaatuinen suunnittelu johtaa epähomogeenisempaan linjaukseen (tienopeuteen), jos se määrätään näkemien pituuden perusteella. Jos taas tienopeus määrätäisiin niiden nopeuksien perusteella, joita liikenne todellisuudessa käyttää, on pystytason elementtien merkitys epäilemättä pienempi kuin vaakataso-kaarresäteiden. Mielenkiintoista olisi myös tutkia, paljonko on sattunut sellaisia onnettomuuksia, jotka ovat aiheutuneet siitä, että kuperien taitteiden kohdalla on ajettu nopeudella, joka on suurempi kuin näkemät edellyttävät (vrt. nopeutta, jolla olisi ajettava lähivaloilla). Tuntuu luonnolliselta, että suhteettoman pienisäteinen kaarresäde pitkän suoran jälkeen on vaarallinen eli olisi tutkittava, onko vaakataso-kaarresäteiden homogeenisuus liikenneturvallisuuden kannalta tärkeämpi kuin pystytason. Kali-

fornian normeissa (38) ja Ohion normien perusteissa (36) sanotaan selvästi, ettei kuperien taitteiden kohdalla ole välttämättä käytettävä suurempia kuin pysähtymisnäkemän edellyttämiä pyörityssäteitä, Amerikkalaisten suositusten yhteydessä on kuitenkin harkittava mitä niihin vaikuttaa se lähtökohta, että kaikilla teillä on pysyvä nopeusrajoitus 95 - 115 km/h.

Vielä on kiinnitettävä huomio säteiden valinnan epämääräisyyteen siinä suhteessa, että kohtaamisnäkemän edellyttämä pyörityssäde on sama kuin pysähtymisnäkemän vaatima säde, jos näkemä vaadittaisiin tien pintaan. Kun nykyisistä Vto:n ohjeista voi saada sellaisen käsityksen, että olisi aina syytä käyttää niin suuria säteitä kuin mahdollista, on harkittava, olisiko uusissa normeissa erikoisesti korostettava, ettei kohtaamisnäkemää suurempiin säteisiin yleensä tarvitse pyrkiä.

Kuvassa 17 suoritettujen tarkastelujen johdosta on korostettava, että ne perustuvat yksinkertaistettuun teoreettiseen maastoon ja todellisuudessa myös vaakataso-kaarresäteiden linjaukseen olisi otettava huomioon. Silloin on mahdollista, että pelkästään pyörityssäteiden merkitys näkemäprosenttiin vaikuttavana tekijänä pienenee. Samoin on muistettava, että myös muut, kuten optiset näkökohdat voivat vaikuttaa pyörityssäteiden valintaan.

Kaarresäteiden suuruuden vaikutusta näkemien ollen tarkastellut yksityiskohtaisemmin artikkelissa (35). Tutkimus perustuu pituuskaltevuudeltaan vaakasuoraan ja leikkauksessa olevaan poikkileik-



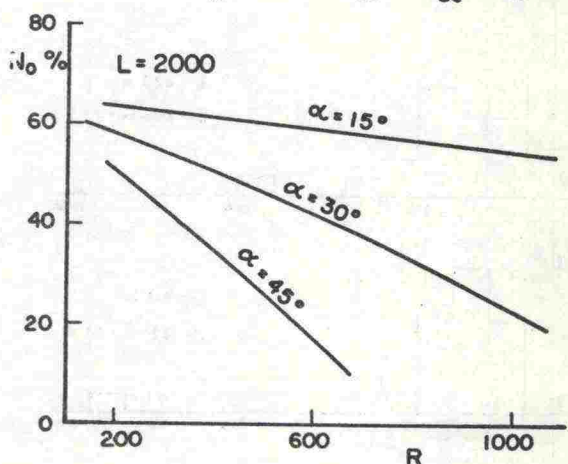
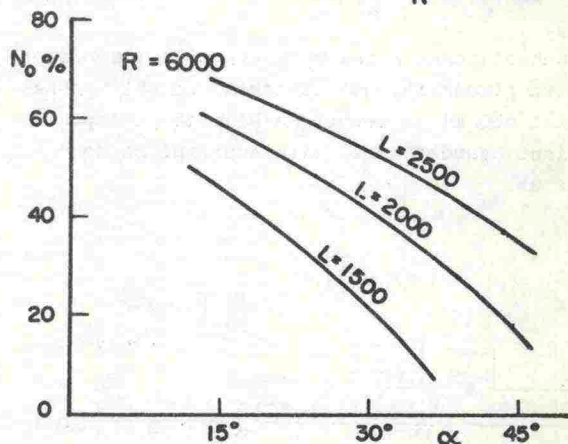
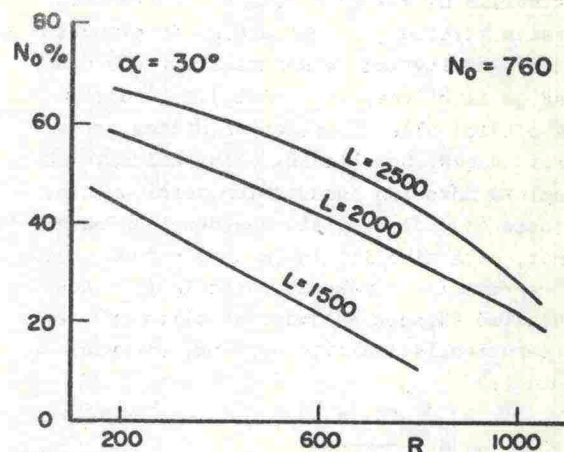
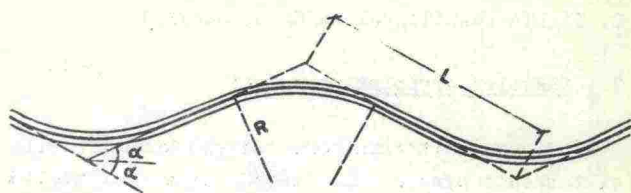
Kuva 19. Näkemän pituus leikkauksessa olevan kaarteiden kohdalla.

kaukseen IN - 10/7 (kuva 19). Tarkastelu on sovellettavissa myös tapaukseen, jossa tie sijaitsee näkemää rajoittavassa metsässä pengerkorkeuden ollessa n. 1.4 m. Tielinja oletetaan täysin symmetriseksi kuvan 20 mukaan eli linja määräytyy kolmen muuttujan R, L ja mukaan. Empiirisesti määritettyjen näkemädiagrammien perusteella on 760 m:n pituisten näkemien osuudelle saatu kuvassa 20 esitetyt tulokset (760 m on Vto:n mukaan ohjenopeutta 100 km/h vastaava ohitusnäkemä). Tälle näkemäprosentille on myös laskettu malli:

$$N_{760} \% = 0.032L - 1.22\alpha + 27.8 \quad r = 0.897$$

Tulosten perusteella voidaan kiinnittää huomiota seuraaviin näkökohtiin. Kun L ja samalla suorien osuus kasvaa, niin ohitusnäkemien osuus kasvaa. Kun kaarresäde R ja kulmanmuutos α kasvaa, pienenee ohitusnäkemien osuus, koska samalla suorien osuus pienenee.

Tulokset osoittavat, että kaarteinen tielinjaukseen ja suurien säteiden käyttö pienentää niitä tieosuuksia, joilla näkemät ovat hyvät. Kalifornian normeissa (38) on ohjeita, jotka kiteyttävät tulokset käytännön suunnitteluohjeiksi: Riittävien ohitusmahdollisuuksien järjestämiseksi ovat n. 800 m:n pituiset ohitusuorat tarpeen 2-kaislaisilla teillä. Suurisäteisistä kaarteista ei ole mitään hyötyä, jos ne liikaa lyhentävät niiden välissä olevaa suoraa. On parempi käyttää pienempiä kaarresäteitä ja siten pienentää suoraa tieosuuksia. Liian pienien kaarresäteiden käyttöä suorien päissä on kuitenkin vältettävä. Kaarteet eivät yleensä saisi olla 800 m pidempiä.



Kuva 20. Näkemäprosentin N_{760} riippuvuus linjauksen laadusta

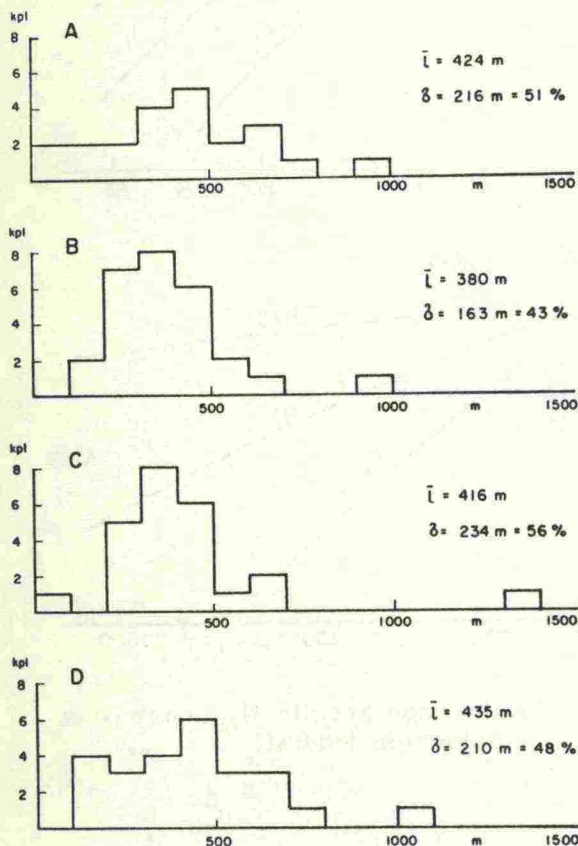
7. TIELTÄ VAADITTAVAT NÄKEMÄOLOSUHTEET

7.1 Näkemien arviointiperusteet

Tiennuunnittelun normitustyön kannalta olisi tärkeätä pystyä määrittämään ohjearvot tieltä vaadittaville näkemäolosuhteille. Mitta-arvona voitaisiin käyttää joko ohitusnäkemän pituutta tai, kuten välityskykytarkasteluissa, 460 m:n näkemää ja ilmoittaa, että tietyllä osuudella tiestä pitäisi olla vähintään mainittua arvoa suurempi näkemä. Sen lisäksi olisi kiinnitettävä huomiota näkemien jakautumien tasaisuuteen. Muistiossa (34) olen alustavana menetelmänä ehdottanut, että tieosittain (n kpl, pituus esim. 5 km) verrattaisiin näkemäprosenttia (p_i) koko tien keskimääräiseen näkemäprosenttiin (\bar{p}) ja tämän perusteella laskettaisiin ns. epätasaisuusluku (e).

$$(9) \quad e = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})}{n}$$

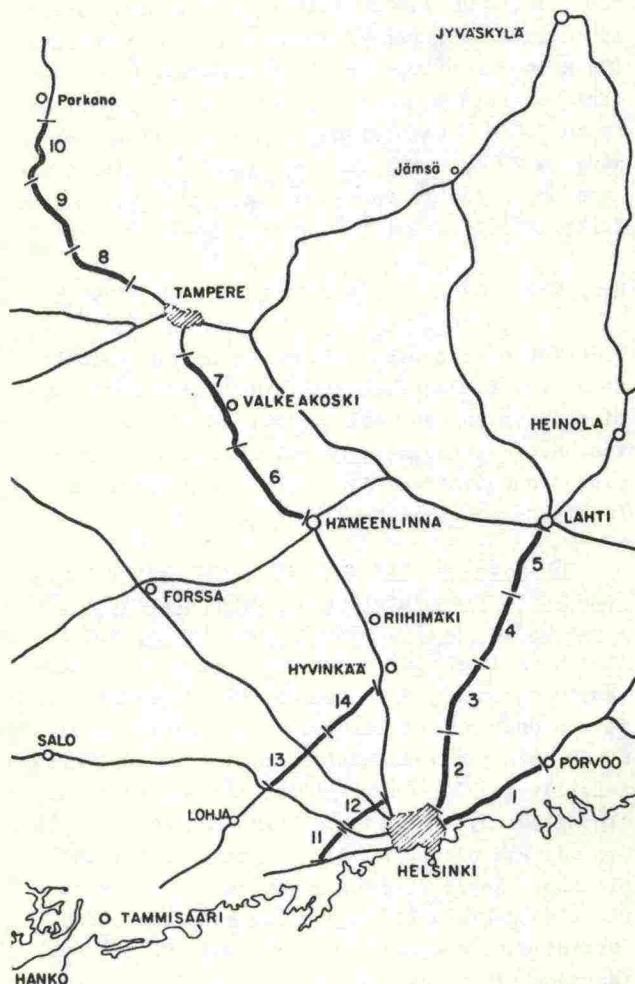
Yksi mahdollisuus olisi myös kontrolloida niiden tieosien pituuksia, joilla näkemä on ohitusnäkemää (tai 460 m) pienempi, koska mitä pidempiä tällaiset osuudet ovat, sitä suurempi on jononmuodostus.



Kuva 21. Niiden osuukien pituuden jakautumat, joilla näkemä < 500 m. (neljällä tieosalla).

AASHO:n Policy:n vuoden 1940 laitoksessa ehdotettiin, että osuus, jolla ei ole ohitusmahdollisuutta, olisi korkeintaan yksi maili ja vähäliikenteisillä teillä kaksi mailia (36). Tällaista suositusta ei ole enää, mutta korostetaan riittävän pitkien ja riittävän usein toistuvien ohitusosien tarpeellisuutta.

Kuvassa 21 on esitetty niiden tiepituuksien jakautumia, joilla näkemä on pienempi kuin 500 m. (Tieosa A sijaitsee kuvan 22 tieosalla 6-7, B tieosalla 3-4, C tieosalla 8, D tieosalla 10.) Tulosten mukaan on tieosalla C (Ylöjärvi - Hämeenkyrö) yksi sellainen osuus, jolla näkemä on alle 500 m lähes puolentoista kilometrin matkalla, mutta suurin osa tällaisista tieosuuksista on alle 600 m. Tieosilla 13-14 (Lohjanharju - Noppo) on näkemältään alle 500 m:n osuuksia yhteensä 46 kpl, joista 17 % sellaisia, joissa tämän osuuden pituus on >1 km, 30 % sellaisia, joissa se on >800 m.

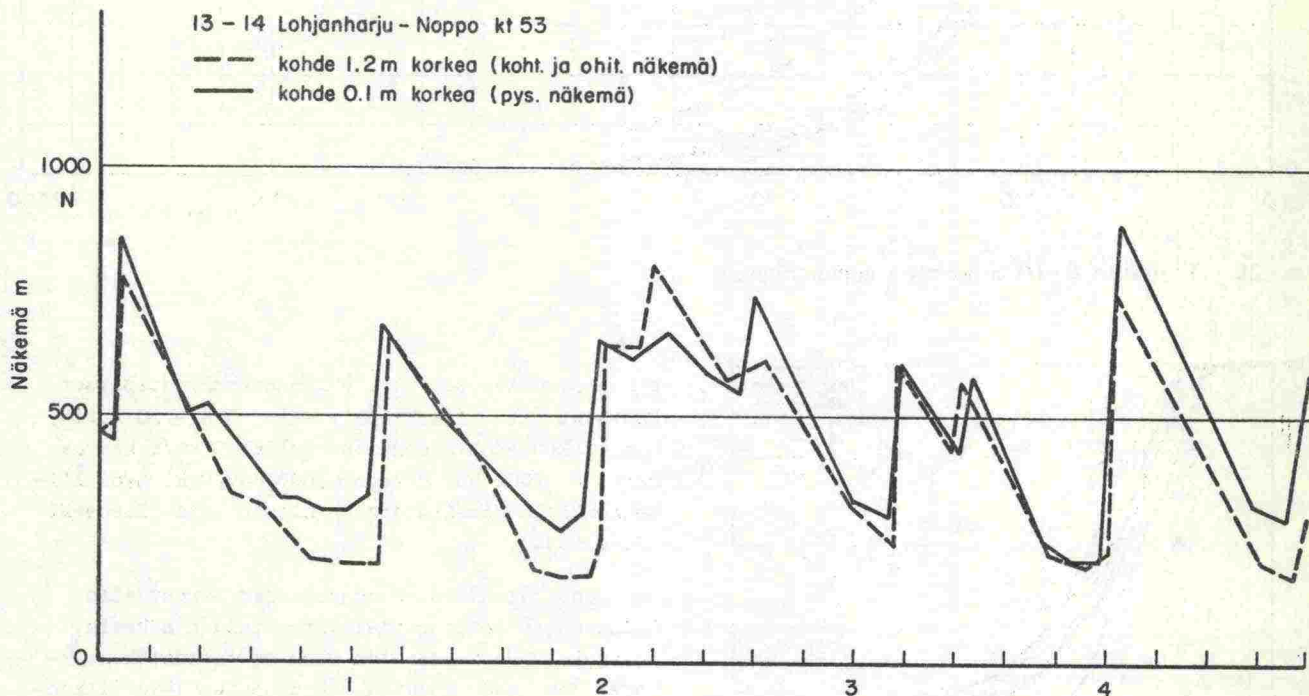


Kuva 22. Tutkimustieosien 1-14 sijainti. Tieosat 15-17 ovat välillä Tuohikotti - Ristiina.

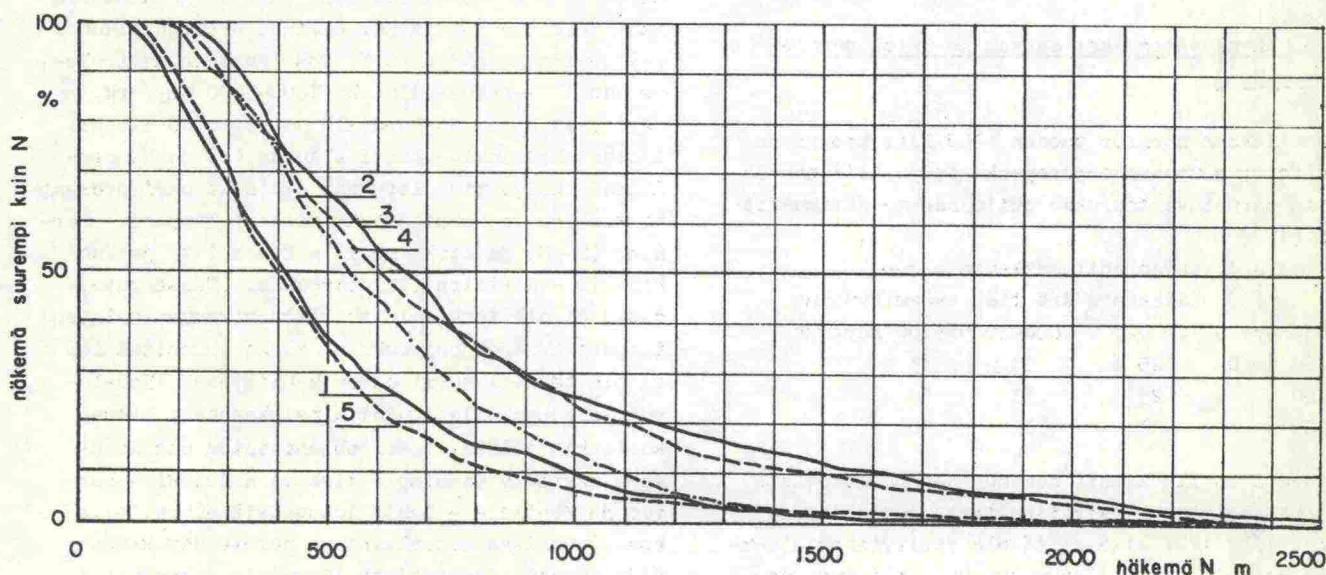
7.2 Esimerkkejä nykyisten teiden näkemäolosuhteista

Nykyisten teiden näkemäolosuhteiden arvioimiseksi on kuvissa 24-26 esitetty kuvasta 22 ilmenevien tieosien näkemien summakäyrät, jotka on saatu tiestötoimiston inventointimittausten tu-

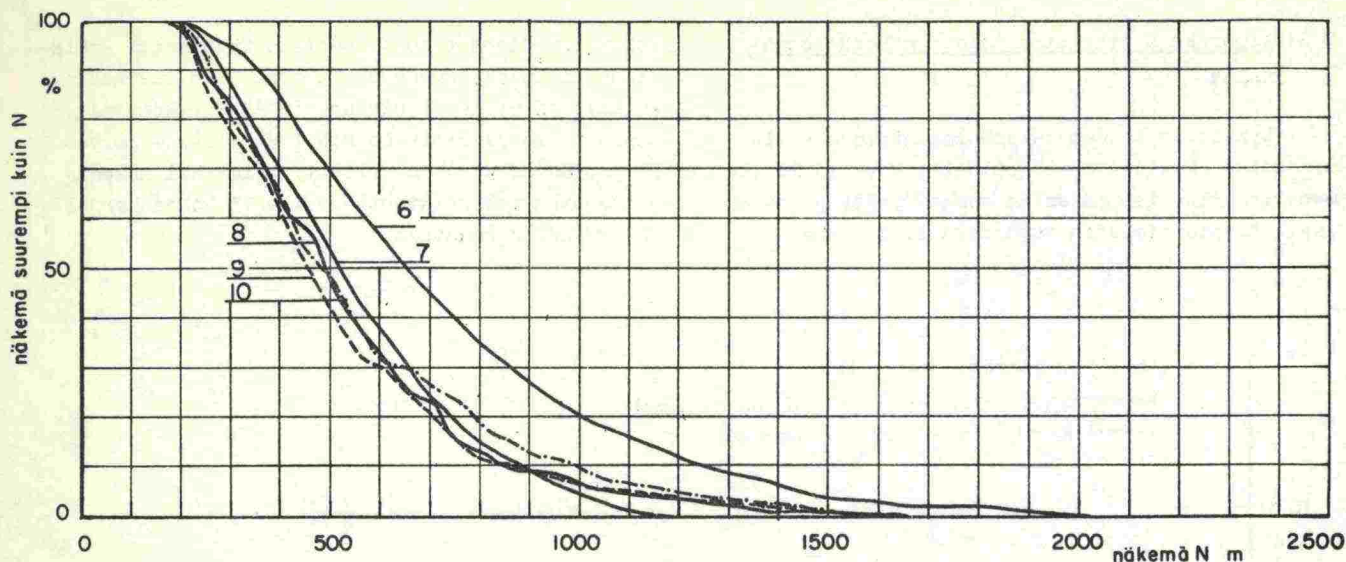
loksista. Tieosat 15-17 välillä Tuohikotti - Ristiina eivät näy kuvassa. Tieosat ovat yleensä n. 20 km:n pituisia. Lyhin on n:o 11 Kirkkonummi - Espoo 12 km ja pisin on n:o 1 Helsinki - Porvoo 33 km. Kuvassa 23 on esitetty esimerkki näkemämittausten tuloksista tieosalla 13 Lohjanharjulta Hyvinkään suuntaan.



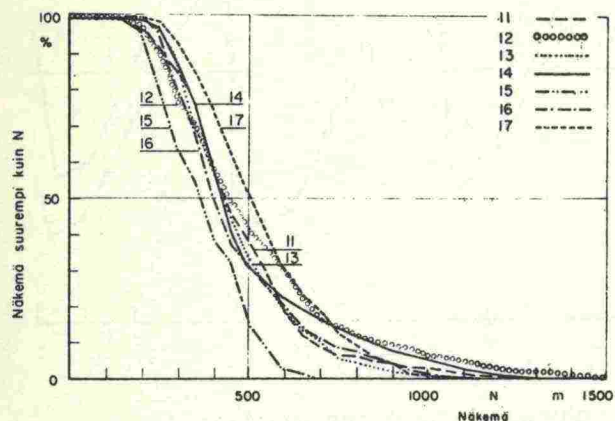
Kuva 23 Esimerkki näkemädiagrammista tieosalta 13 Lohjanharjulta Nopon suuntaan.



Kuva 24. Tieosien 1-5 näkemien summakäyrät.



Kuva 25. Tieosien 6-10 näkemien summakäyrät.



Kuva 26. Tieosien 11-17 näkemien summakäyrät.

7.3 Näkemävaatimukset Saksan ja Ohion normien mukaan

Saksan normien vuoden 1963 laitoksessa on esitetty seuraava ohjenopeuksiin ja liikennemääriin perustuva taulukko ohitusnäkemävaatimuksista (17):

ohjenopeus	Vaadittavan ohitusnäkemän osuus		
	Liikennemäärä tien avaamisvuonna		
	1000-2000	2000-3000	>3000
hay/vrk			
60 km/h	25 %	33 %	33 %
80	25	33	50
100	33	33	50

Kysymys on ilmeisesti kokemukseen perustuvista nyrkkisäännöistä (arvot esitetty murtolukuina $1/4$, $1/3$, $1/2$) eikä niitä ole yksityiskohtaisemmin perusteltu. Vastaava taulukko oli myös normien aikaisemmassa laitoksessa vuodelta 1959, mutta silloin esitetyt arvot olivat luokkaa suurempia, esim. $1/2$ sijasta $2/3$. Taulukon numeroarvojen johdosta voitaisiin esimerkiksi kysyä,

mihin perustuu se, että ohitusnäkemävaatimukset kasvavat niin voimakkaasti kuin 25 % - 50 %:iin, kun liikennemäärä ohjenopeudella 80 km/h kasvaa arvosta 2000 hay arvoon >3000 hay/vrk. Myös liikennemäärän ilmaisutapa on hieman outo (lienevät KVL-arvoja).

Jos saksalaisten ohjearvojen perusteella halutaan arvioida suomalaisten teiden näkemiä, on käytettävä vastaavien normien ohitusnäkemäarvoja. Jos tämän tutkimuksen tieosien 1-14 liikennemääräksi oletetaan >3000 hay/vrk ja ohjenopeudeksi 100 km/h, jolloin vaadittu ohitusnäkemä on 600 m (Vto:n 760 m:n sijasta), voidaan kuvien 24-26 perusteella päätellä, että vain tieosan Helsinki - Mäntsälä loppuosa (n:o 3) ja Mäntsälä - Lahti alkuosa (4) ja Hämeenlinna - Kulju alkuosa (6) täyttävät ehdon 50 %. Jos lähtökohdaksi oletetaan liikennemääräluokka 1000-3000 hay/vrk, täyttävät ehdon 33 % edellä mainittujen lisäksi tieosat Helsinki - Lahti alkuosa (2) ja Hämeenlinna - Kulju tien loppuosa (7) sekä pari prosenttiyksikköä vajaaksi jäävät tieosat Tampere - Parkano (8-10) ja Kirkkonummi - Espoo (11) ja Tuohikotti - Ristiina (17) loppuosa. (Tässä yhteydessä ei ole tarkemmin tutkittu tiesuunnitelmien teoreettisia ohjenopeuksia, koska suunnitelmia ei tietävästi normituksen kehittyessä 1950-luvun loppupuolella jouduttu paikkaamaan; lienee kuitenkin selvää, ettei ohjenopeutta ole lainkaan käytetty vanhimpia tieosia Helsinki - Porvoo ja Mäntsälä - Lahti loppupäätä suunniteltaessa.) Uusissa saksalaisissa normiehdotuksissa (47) on esitetty entistä lievempiä näkemävaatimuksia tielinjaukselle. Havaitaan, että perusteena ei käytetä ohitusnäkemää, vaan >450 m:n ja >300 m:n näkemien osuutta. Vaatimus, että 450 m:n näkemien tulee olla vähintään 30 %, merkit-

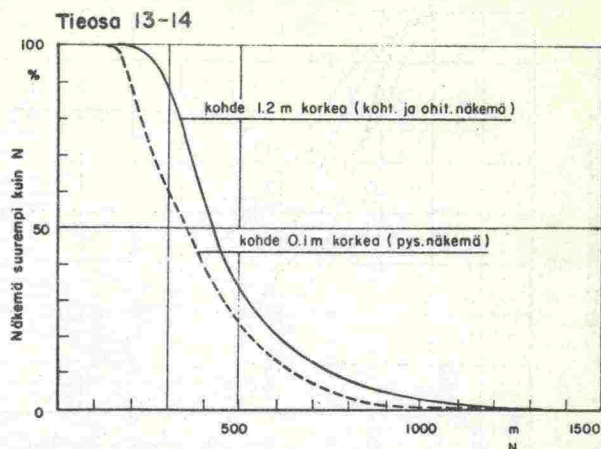
see, että 600 - 650 m:n näkemien tulee olla 15 - 30 % eli vaatimus on vain noin puolet aikaisempien normien suurimmasta vaatimuksesta ja miltei kaikki uusimmat päätiemme täyttäisivät nämä vaatimukset.

	Bundesstr.		Landstr.	
Ohjenopeus km/h	80/100	80/100	60/30	60/80
KVL ajon/vrk	6000-15000	5000-12000	3000-8000	1000-5000
poikkileikkaus	12/7.5	8.5/7.5	7.5/6.5	6.5
N > 450 m %	> 50	> 50	> 40	> 30
N > 300 m %	> 70	> 70	> 60	> 50

Näkemävaatimusten ohjearvoja on annettu myös Ohion osavaltion normeissa (36) siten, että kun KVL > 3000 (ilmeisesti hay/vrk), vaaditaan, että vähintään 70 % tiestä on sellaista, jolla on vähintään 460 m:n näkemä tien pintaan (ohjenopeudesta riippumatta). Kun KVL on 1000 - 3000 hay/vrk, on vastaava vaatimus 50 % ja teille, joiden KVL < 1000 hay/vrk, ei ole mitään vastaavia arvoja esitetty. Mielenkiintoista on, että näkemä vaaditaan tien pintaan ja sen perusteluksi esitetään, että autoilijoille on tärkeintä välitön näkemä tien pintaan. Onkin ilmeistä, että ohitus- ja kohtaamisnäkemälaskelmat kuperien taitteiden kohdalla ovat siinä suhteessa epärealistiset, etteivät autoilijat pysty tajuamaan, kuinka pitkä teoreettinen näkemä 1.2 m (1.4 m) korkeaan kohteeseen. Näkemäprosenttivaatimukset voidaan kyllä esittää kummalla tavalla hyvänsä eli joko 1.2 m tai 0.0 (0.1) m korkeaan kohteeseen, koska niillä on tietty riippuvuus (kuva 27).

Kun tvl:n näkemämittaustulokset ilmoittavat näkemien pituudet 1.2 m korkeaan kohteeseen, olisi tärkeätä tietää, kuinka näkemäprosentit muuttuvat, jos näkemä määrättäisiin tien pintaan. Sellaisia tutkimuksia ei ole olemassa, mutta Lohjanharju - Noppo tiellä mitattiin näkemät myös pysähdysnäkemää vastaavissa olosuhteissa eli 0.1 m korkeaan esteeseen. Esimerkitulokset ilmenee kuvasta 23 ja näkemien summakäyrät on esitetty kuvassa 27, jolloin käy ilmi, että käyrien ero on suurempi pienillä näkemäarvoilla. Tämä ilmeisesti johtuu siitä, että kuperien taitteiden kohdalla, jossa näkemät ovat pienimmillään, ovat näkemät 0.1 korkeaan kohteeseen 30 % pienemmät kuin 1.2 m korkeaan kohteeseen. Arvolla 460 m on ero kymmenen prosenttiyksikköä ja ero tien pintaan olisi vielä hieman suurempi. On ilmeistä, että tämä riippuvuus riippuu myös linjauksen laadusta.

Jos kuvan 27 perusteella oletetaan, että 460 m:n näkemäprosentti tien pintaan on sama kuin 530 m:n näkemäprosentti 1.2 korkeaan esteeseen, voidaan todeta, ettei yksikään tutkituista tieosista täyttäisi 70 %:n vaatimusta (lähimmäksi tulee Hämeenlinna - Kulju tien alkiosa 6). Sen sijaan 50 %:n vaatimuksen täyttäisivät tieosat Helsinki - Mäntsälä (3-4), Mäntsälä -



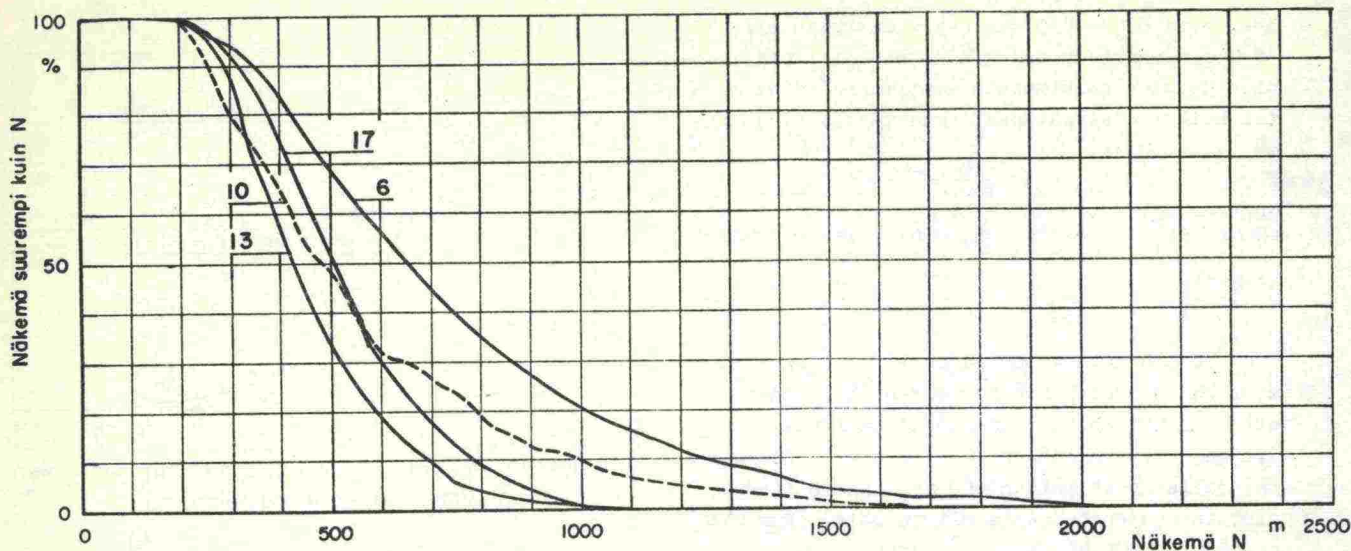
Kuva 27. Pysähtymis- ja kohtaamisohitusnäkemien summakäyrien vertailu.

Lahti alkiosa (4), Hämeenlinna - Kulju (6-7) ja Tampere - Parkano (8 - 10) keskimmäistä osuutta lukuunottamatta sekä Noppo - Ristiina loppuosa (17). Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että vaatimus 70 % on ehdottomasti liian suuri ja josakin määrin realistisena vaatimuksena voitaisiin pitää, että 50 %:lla tiestä olisi vähintään 500 - 550 m:n näkemät.

7.4 Tielinjauksen luonteen vaikutus näkemiin

Kun maassamme n. viisitoista vuotta sitten alettiin kiinnittää erikoista huomiota tielinjan geometrisen suunnittelun perusteisiin, tuli tavoitteeksi kaarteileva, maaston muotoon joustavasti sopeutuva linjaus. Tällaista tietä edustaa tämän tutkimuksen tieosista parhaiten osuus Lohjanharju - Noppo (13,14). Silloin on mielenkiintoista tutkia, minkälaisuiseksi muodostuvat tämänlaatuisten linjauksen näkemäolosuhteet.

Erityyppisten linjausten näkemien vertailemiseksi on kuvassa 28 esitetty neljän tieosan summakäyrät: Hämeenlinna - Kulju alkiosa (n:o 68, myös osuus Helsinki - Mäntsälä alkiosa on samantyyppinen), Tampere - Parkano loppuosa (10), Lohjanharju - Hyvinkää alkupää (13) ja Tuohikotti - Ristiina loppuosa (17). Havaitaan, että Lohjanharju - Hyvinkää tien summakäyrä eroaa muista siinä suhteessa, että sen kaltevuus on suhteellisen jyrkkä siten, että niitä osia, joissa näkemä on kohtaamisnäkemää eli 300 m:ä pienempi, on vain n. 11 %, mutta että tieosia, joilla näkemä olisi 500 m:ä suurempi, on vain n. 34 %. Tämä 500 m:n näkemäprosentti on jopa pienempi kuin Helsinki - Porvoo välillä, jossa muutamat pitkät suorat parantavat tätä näkemäprosenttia, vaikka geometria sisnäsä on niin pienipiirteistä, että 33 % tästä tieosuudesta on sellaista, jolla näkemä on pienempi kuin 300 m. Jonkinlaisesta keskiarvosta näiden linjausten välillä edustaa tieosa Tampere - Parkano.



Kuva 28. Erilaatuista linjausta edustavien näkemien summakäyrien vertailu.

Kuvasta 26 havaitaan, että uusimpien teiden näkemien summakäyrien yleiskulku on samanlaatuinen (Tuohikotti - Ristiina välin alkupäätä lukuunottamatta, jossa on erityisen huonot näkemät). Tuohikotti - Ristiina välin keskiosa (16) on hyvin samanlaatuinen kuin Lohjanharju - Noppo ja loppuosa (17) samanlaatuinen kuin mm. osuus Virojoki - Vaalimaa (28 km), jonka summakäyrää ei tässä ole esitetty. Seuraavan taulukon tulosten mukaan on Lohjanharju - Noppo tiellä ilmeisesti enemmän sellaisia näkemäesteitä, joiden voidaan tulkita aiheutuneen linjauksen kaarteisuudesta:

Näkemäesteen laatu	Lohjanharju-Noppo	Helsinki-Mäntsälä alkupää
Kasvillisuus	36.4 %	18.0 %
Mäenharja	29.9	57.1
Leikkaus	19.8	23.5
Rakenteet	14.2	1.4

Lohjanharju - Noppo tien linjausta osoittavat vielä seuraavat numeroarvot kaarteiden osuudesta ja kaarre- ja pyöristysäiteiden suuruudesta ja niiden pituudesta:

Osuus tiepituudesta

suorat	2.4 %
klotoidit	36.1
kaarteet	61.5
yht.	100 %

kaarresäde R	pituus L	
	<600 m	>600 m
<1700	22 kpl	9 kpl
>1700	11	10
yht.	52 kaarresädettä	

pyöristyssäde S	pituus L	
	<500 m	>500 m
<13500 m	15 kpl	6 kpl
>13500	7	7
yht.	35 pyöristyssädettä	

Edellä kohdassa 2 on kiinnitetty huomiota liittymiin ohitusmahdollisuuksia pienentävänä tekijänä. Kuvassa 11 esitettyjä menetelmiä soveltamalla saatiin Lohjanharju - Noppo tiellä tulokseksi, että liittymien vuoksi pieneni $N_{500} = 34\%$ arvoon 29% .

8. ERITYISTARKASTELUJA

8.1 Näkemien riippuvuus ajosuunnasta ja vuoden ajasta

Teiden inventointimittauksissa mitataan näkemät vain yhteen suuntaan, koska oletetaan, että toisen suunnan näkemäprosentit ovat riittävällä tarkkuudella samat. Asiaa on yksityiskohtaisemmin tutkinut dipl.ins. T. Miikkulainen (39).

Vertailun vuoksi mitattiin Lohjanharju - Noppo osuudella näkemät molempiin suuntiin ja tulokseksi saatiin, että yli 500 m:n näkemien osuus toiseen suuntaan oli 33.5% , toiseen suuntaan 36.5% eli ero lienee mittaustarkkuuden suuruusluokkaa.

Lehtipuiden, viljan ja lumen vuoksi vaihtelevat näkemäolosuhteet vuodenaikojen mukaan. Tätä vaihtelua oli tarkoitus tutkia vertailemalla näkemiä kesällä ja syksyllä, jolloin lehdet ovat varisseet ja talvella, jolloin lumi on näkemäesteenä. Valitettavasti suoritettiin syksyn ja talven mittaukset tutkimusosuudella Inkoo - Snappertuna (13 km) eri suuntiin, joten vertailu ei ole mahdollista. Tällä osuudella voidaan kuitenkin vertailla syksyn (marraskuun) ja talven (tammikuun) näkemiä. Tulokseksi saatiin, että yli 200 m:n näkemien osuus syksyllä oli 42.5% ja talvella 39.5% , joten lumi jossakin määrin pienentää näkemäprosentteja. Talvimittaus suoritettiin

tiin myös Lohjanharju - Noppo tien alkuosalla (22 km) ja tulokseksi saatiin, että yli 500 m:n näkemien osuus kesällä oli 34.8 % ja talvella 39.3 %, minkä mukaan lehtipuut ja vilja olivat suurempi näkemäeste kuin lumi.

8.2 Valokuvia eräistä näkemien muodostumisen erikoistapauksista Kirkkonummi - Hämeenkylä ja Lohjanharju - Noppo osuudella

Kuva 1. 'Ohitussuora', jonka voitaneen tulkitä edustavan sellaista linjausta, jota amerikkalaiset normit suosittelivat. Tässä tapauksessa kuitenkin suoran keskivälissä oleva liittymä rajoittaa ohitusmahdollisuuksia. Liittymät on kuitenkin pyrittävä sijoittamaan juuri tällaisille paikoille.

Kuva 2. Teoreettiset näkemämittaukset 1.2 m korkeaan kohteeseen antavat tässä epäilemättä hyviä tuloksia, mutta autoilija kokee kuitenkin epämiellyttävänä sen, että ajoradan pinta häviää näkyvistä, seikka, mikä olisi ehkä helpostikin korjattavissa. Tässä tapauksessa on 'Porsche'-kuoppa niin matala, että autoilija ajattelee, 'ettei siellä voi olla ketään'. Esim. S-kaarteiden kohdalla, jossa vaakatason elementtien puolesta olisi hyvät näkemät, ei näkemiä saisi 'pilata' pystytason linjauksella. Huomattakoon, että leikkaamaton ruoho myös osaltaan rajoittaa näkemää.

Kuva 3. Näkemät ovat näennäisesti loistavat, mutta ellei vastaantulevia autoja olisi, ei outo autoilija tienpinnan häviämisen vuoksi pysty päättämään, että oikealle kääntyvän kaarteiden jälkeen seuraa välittömästi vasemmalle kääntyvä kaarre.

Kuva 4. Kaide voi aiheuttaa suuria näkemärajouksia kuperien vaakakaarteiden kohdalla. Tässä tapauksessa on kupera säde suhteellisen suuri, mutta joissakin tapauksissa voi 'kuolleessa kulmassa' oleva alue tulla hyvinkin suureksi, seikka, mikä ei tule ilmi, jos näkemätarastelut tehdään tiesuunnitelman perusteella. Näkemämittauksissa kävi ilmi, että näkemät voivat mennä jopa pysähtymisnäkemää hieman pienemmiksi.

Näkemiä voivat rajoittaa myös siltojen kaiheet vaakakaarteiden ja eritasoliittymien rampien kohdalla, jolloin näennäisesti läpinäkyvä kaide voi tietystä kulmasta katsottuna muodostaa läpinäkymättömän 'sälekaihtimen'.

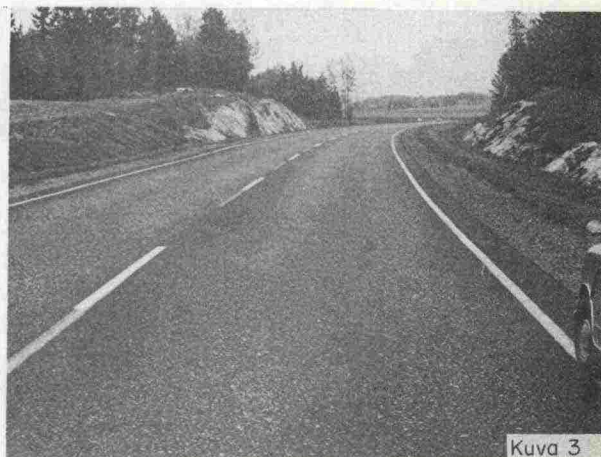
Kuvat 5-6. Näkemäalueita raivaamalla voitaisiin usein huomattavasti parantaa näkemiä. Periaatteessa niitä lienee kuitenkin pidettävä hätäratkaisuina, koska linjauksen laatu on ratkaiseva näkemäolosuhteiden muodostamisessa. Vto:ssa ei ole annettu tarkempia ohjeita, voitaisiinko raivauksia tehdä esim. ohitusnäkemän saavuttamiseksi. Olosuhteista riippuen voitaisiin niitä ehkä



Kuva 1



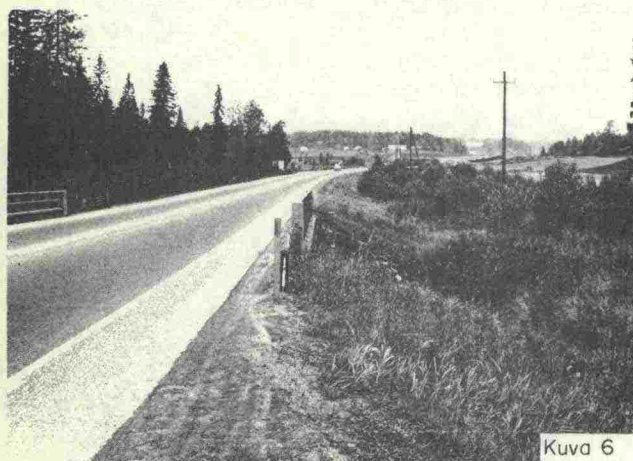
Kuva 2



Kuva 3



Kuva 4



suorittaa, vaikka ohitusnäkemä olisi olemassa, jos siten saavutettaisiin huomattavan pitkiä näkemiä ja olosuhteet muuten ovat huonot.

Kuvat 7-8. Näkemäleikkaus, joka ei niittämättä jätetyn ruohon vuoksi täytä tehtäväänsä. On myös mahdollista, että näkemäleikkaus on alun perin jätetty liian korkeaksi. On huomattava, että kaarre sijaitsee kuperan taitteen kohdalla ja tällaisessa tapauksessa on ehkä joskus mahdollista, että näkemäleikkauksen korkeustaso näkemän puolivälissä on alempana kuin ajoradan pinta. Alemmasta kuvasta voidaan todeta, että mittausauton kyltti on juuri ja juuri näkyvissä, mutta itse autoa ei näkyisi.

9. YHTEENVETO

Tutkimuksessa on tarkasteltu näkemäolosuhteiden merkitystä 2-kaistaisten teiden suunnittelussa, näkemien muodostumiseen liittyviä lainalaisuuksia, näkemien pituuksien numeroarvoja, erilaatuista linjausta edustavien teiden näkemäolosuhteita sekä näkemävaatimusten ohjearvoja tiensuunnittelussa. Sisällysluettelon järjestyksen mukaan on seuraavassa esitetty lyhyt yhteenveto tärkeimmistä esille tulleista näkökohdista.

Näkemien merkitystä liikenneturvallisuudelle osoittavia numeerisia numeroarvoja ei ole kovin paljon olemassa. Yleensä on todettu, että onnettomuusluvut kasvavat näkemien huonontuessa. Uusimpien ruotsalaisten tutkimusten mukaan ei näkemillä kuitenkaan olisi merkitystä, jos poikileikkaus on leveä. Ei ole kuitenkaan varmaa, että samat tulokset ajotapojen erilaisuuden vuoksi pätisivät myös meillä, koska Ruotsissa tavallisesti käytetään ohitusilanteissa hyväksi myös piennarta.

Näkemät vaikuttavat liikenteenvälityskyyn siten, että huonot näkemät pienentävät suhteellisesti eniten hyvien palvelutasojen välityskykyä. Näkemäolosuhteiden mitta-arvona käytetään 460 m:n näkemien osuutta ja tämän osuuden tavallisella vaihtelualueella pienenee välityskyky vain n. 20 %. Näkemien merkitys ei siis ole kovin suuri, vaan suurin vaikutus välityskykyyn on tien keskimääräisellä ohjenopeudella, tienopeudella, jonka määrittämisperusteita olisi tutkittava entistä enemmän.

Kun empiirisen aineiston avulla on tutkittu näkemiin liittyviä lainalaisuuksia, on tässä tutkimuksessa voitu johtaa riippuvuus eripituisten näkemien suhteellisten osuuksien välille. Jos esimerkiksi tunnetaan ≥ 500 m:n näkemien osuus, on ≥ 600 m:n näkemien osuus keskimäärin 12 %-yksikköä ja 400 m:n näkemien osuus 15 %-yksikköä suurempi. Tähän riippuvuuteen vaikuttaa myös linjauksen laatu ja eräillä 1960-luvulla suunnitelluilla teillä voi 400 m:n ja 600 m:n näkemäprosentti-

yksikköjen eri olla kymmenen %-yksikköä suurempi. Myös voidaan osoittaa, että keskimääräinen matka, jolla näkemä on tiettyä arvoa suurempi, riippuu vastaavasta näkemäprosentista. Jos esim. tiellä, jolla ≥ 500 m:n näkemä on 50 %, on keskimääräinen matka, jolla näkemä on yli 500 m, 530 m eli keskimääräinen näkemä tällaisen osuuden alkaessa on $500 + 530$ m. Näkemien keskinäisten riippuvuussien vuoksi voidaan vaatimukset esittää joko ohitusnäkemävaatimuksin tai esim. välityskykytarkasteluissa tarvittavan 460 m:n näkemän osuutena.

Pysähtymisnäkemän pituus riippuu reaktioajasta, kitkasta ja nopeudesta tehdyistä oletuksista. Vaikka pysähtymisnäkemää on verraten runsaasti tutkittu, on arvojen valinta jossakin määrin sopimuksenvaraista, joskaan eri maiden normeilla (eräitä poikkeuksia lukuunottamatta) ei ole kovin suuria eroja.

Pysähtymisnäkemän lukuarvo on siinä suhteessa tärkeä, että se on tien jokaiselta kohdalta vaadittava ehdoton minimi. Kohtaamisnäkemä lienee käytössä vain Pohjoismaissa, ja esim. Ruotsin uusimpien normiehdotusten mukaan aiotaan se edelleen säilyttää ja asettaa tienlinjauksen yleiseksi minimivaatimukseksi.

Useiden maiden normeissa on annettu ohjearvoja myös ohitusnäkemälle, vaikka sen välitön käyttö tiensuunnittelussa on vähäistä. Ohitusnäkemän pituutta on tutkittu runsaasti sekä teoreettisesti että empiirisesti, mutta yksikäsitteisen ohjearvon antaminen ei ohitustapahtuman monipuolisuuden vuoksi ole aivan helppoa. Ohitusnäkemän tarkalla lukuarvolla on myös vasta silloin merkitystä, kun voidaan nykyistä tarkemmin ilmoittaa tielinjaukselle asetettavat näkemävaatimukset. Uusimpien tutkimusten mukaan näyttää ohitusnäkemä kasvavan nopeuden kasvaessa varsin vähän, joten Vto:n arvot ovat pienillä ohjenopeuksilla liian pieniä ja suurilla liian suuria. Ohitusnäkemä kasvaa n. 50 m:ä, kun nopeus kasvaa 10 km/h eli se voisi vaihdella välillä 400 - 650 m ohjenopeuden arvoilla 50 km/h - 100 km/h.

Ohitusnäkemän yhteydessä olisi tutkittava myös niitä näkemiä, joilla ohitus olisi ehdottomasti kiellettävä ja joiden mukaan myös sulkuvivat maalataan, koska mitään johdonmukaisia perusteita ei toistaiseksi ole olemassa.

Kuperan taitteen minimipyörityssäteen suuruus riippuu pysähtymisnäkemän pituudesta, silmäpisteen ja kohteen korkeudesta tehdyistä oletuksista. Silmäpisteen korkeus on syytä tarkistaa tapahtunutta kehitystä vastaavaksi, joskin sen merkitys on suhteellisen pieni verrattuna siihen, mitä itse näkemän pituus ja kohteen korkeus vaikuttavat. Vastaavasti on silmäpisteen

korkeuden merkitys pieni tietyllä pyörityssäteiden arvolla saavutettavan näkemän pituuteen. Jos näkemä vaaditaan nykyisen 0.1 m korkean kohteen sijasta tien pintaan, kasvaa säde 67 %. Jos Vto:n nykyistä pysähtymisnäkemän arvoa 100 km/h ohjenopeudella ruotsalaisten tutkimustulosten mukaisesti suurennetaan 20 %, kasvaa säde 44 %. Huomattakoon, että jos pysähtymisnäkemään perustuvaa pyörityssädettä laskettaessa näkemä vaaditaan tien pintaan, saavutetaan samalla kohtaamisnäkemä, (jos kohteen korkeus, kuten tavallista, symmetrisyyden vuoksi oletetaan samaksi kuin silmäpisteen korkeus). Kohtaamisnäkemää perusteenä käytettäessä on kohteen korkeuden vaikutus suhteellisen pieni. Ohitusnäkemään perustuva pyörityssäde on yleensä epärealistinen.

On myös korostettava vastaantulevan ajoneuvon korkeuteen perustuvien näkemien teoreettista luonnetta, koska esimerkiksi ohitustilaisuuden arviointia varten ei autoilija kuperan taitteen kohdalla yleensä pysty arvioimaan, kuinka pitkä näkemä lakipisteen takana olevaan kohteeseen on. Kaikkein tärkeintä autoilijalle on näkemä tien pintaan.

Mikäli tien linjauksessa pyritään siinä suhteessa hyviin näkemiin, että ohitusnäkemien osuus olisi mahdollisimman suuri, olisi käytettävä mahdollisimman pieniä pyörityssäteitä, koska silloin pyörityskaaren pituus pienenee ja kuperien taitteiden väliin jäävän suorien ja koverien osuus kasvaa. Sama sääntö pätee myös vaakatason linjaukseen eli liian kaarteilevan linjauksen ja liian suurien kaarresäteiden käyttöä on vältettävä, jos kaarteiden kohdalla on näkemää rajoittavia esteitä, kuten leikkausluiska tai kasvillisuutta. Pyörityssäteiden pienentämisellä voidaan pienentää myös rakennuskustannuksia. Käytännössä kuitenkin myös monet muut seikat, kuten optiset näkökohdat ja pyrkimys tasaiseen tienopeuteen erityisesti vaakatasossa vaikuttavat säteiden valintaan. Kun mahdollisimman suurien säteiden käyttöä lienee joskus pidetty tavoitteena sinänsä, lienee aiheellista korostaa senlaatuisten linjauksen varjopuolia, huonoja ohitusnäkemäolosuhteita.

Teiden inventointimittausten tuloksista on saatavissa hyviä tuloksia nykyisten teiden näkemäolosuhteiden analysoimiseksi. Niiden perusteella voidaan määrittää näkemien täydelliset jakautumat, jotka voidaan esittää parhaiten summakäyrän muodossa, jolloin suoraan nähdään tiettyä arvoa suurempien tai pienempien näkemien osuus. Tuloksista on käynyt selvästi ilmi, että eri tyyppisten linjausten näkemäolosuhteilla on selvä ero. Esim. välillä Viik - Mäntsälä valtatielellä 4-5 edustaa 1950-luvulle ominaista suhteellisen suora linjausta, jolloin pitkien näkemien osuus on

varsin suuri (≥ 500 m näkemiä 60 %). Sen sijaan Lohjanharju - Noppo edustaa 1960-luvulla suosiossa ollutta suhteellisen kaarteilevaa suurisäteistä linjausta, jolloin pitkien näkemien osuus jää pieneksi (≥ 500 m:n näkemiä 35 %). On ilmeistä, että liian kaarteilevaa tielinjausta juuri näkemäolosuhteiden huononemisen vuoksi olisi vältettävä ja sen sijaan amerikkalaisten suositusten mukaan pyrittävä riittävän usein toistuviin ja riittävän pitkiin ns. ohitusuoriin.

Olisi toivottavaa, että tiensuunnittelua varten voitaisiin antaa ohjearvoja tielinjaukselta vaadittavista näkemäolosuhteista, jotka voitaisiin ilmoittaa esim. joko ohitusnäkemäosuutena tai esim. 460 m:n näkemäosuutena. Tällaisia numeroarvoja on kuitenkin vaikea johtaa suoraan esim. välityskykytarkastelujen perusteella, vaan suositukset jäävät jossain määrin harkinnanvaraisiksi ja subjektiivisiksi ja asia vaatisi vielä jatkotutkimuksia. Esim. Saksan normeissa on tällaisia arvoja esitetty, mutta ne ovat hieman epärealistiset, kun päteillä vaaditaan, että 600 m:n näkemä on vähintään 50 %. Empiiristen tutkimusten mukaan näyttää siltä, että 600 - 650 m:n näkemiä voitaisiin meillä vaatia 30 - 35 %, ja uusimmissa saksalaisissakin normiehdotuksissa on vaatimuksia tähän suuruusluokkaan lievennetty.

LÄHDELUETTELO

1. F. Bitzl: Der Sicherheitsgrad von Strassen. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik. Heft 28.
2. J.C. Young: Building Safety Into Our Road System. California Traffic Safety Conference. Proceedings 1950.
3. M. S. Raff: The Interstate Highway Accident Study. Public Roads No 6/1953.
4. H. E. Hiltz: Safety an Essential Element of Highway Engineering Design Practices. Highway Engineering Conference. University of Utah. Proceedings 1947.
5. Traffic Control and Roadway elements. Their Relationship to Highway Safety. The Automobile Safety Foundation. 1963.
6. D. W. Schoppert: Predicting traffic accidents from roadway elements of rural two-lane with gravel shoulders. Highway Research Bulletin 158 (1950).
7. Statens Vegvesen: Vegnormaler. Geometrisk utforming. Vegdirektoratet 1968.
8. S. Tynelius, C.-O. Berglund: Fri sikt i gathörn. Rapport 30. 1966. Statens Institut för byggnadsforskning.
9. Highway Capacity Manual. Highway Research Board Special Report.
10. M. Leskinen: Tien parantamistarpeen tutkiminen liikennöitävyyden avulla ym. tiestötoimistossa laadittuja muistioita.
11. V. Syyrakki: Jonot ja ohitukset tieliikenteessä. Tvh:n tiesuunnitteluosaston tekn. tal. tston tiedotuslehti n:o 1/1968.
12. K. Dietrich: Kolonnenbildung und Überholen. Strasse und Verkehr n:o 11/1965.
13. N. Netzer: Der Überholvorgang auf Landstrassen unter Berücksichtigung der Verkehrssicherheit. Strassen und Strassenverkehrstechnik. Heft 50. 1966.
14. K. I. Åhman: Omkörningar av personbilar. Trafikstudier. Statens Väginstitut. Specialrapport 70. 1968.
15. Valtioneuvoston päätös, joka sisältää teknilliset ohjeet yleisten teiden tekemisestä ja kunnossapidosta sekä ohjeet näkemäalueen määrittämisestä.
16. Statens Vägverk: Normer och anvisningar för vägars planläggning, utforming och utförande. 1967.
17. Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen: Richtlinien für die Anlage von Landstrassen. 1959, 1963.
18. American Association of State Highway Officials: A Policy on Geometric Design of Rural Highways. 1954, 1965.
19. Ministry of Transport: Layout of Roads in Rural Areas. 1968.
20. M. Stolz: Sichtweiten und Verkehrsablauf. Schriftenreihe der Deutschen Akademie für Verkehrswissenschaft. Hamburg. Band 3. 1967.
21. M. Netzer: Der Überholvorgang auf Landstrassen unter Berücksichtigung der Verkehrssicherheit. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik. Heft 50. 1966.
22. F. Bitzl: Die Auswirkungen überhöhter Verkehrsgeschwindigkeiten für den Landstrassenbau. Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen. Heft 65. 1966.
23. W. Blaschke: Am sichersten überholt man nicht in den Geraden. Strasse und Autobahn no 6/1955.

24. K.-I. Åhman: Omkörningar av personbilar. Trafikstudier. Statens Väginstitut. Specialrapport 70. 1968.
25. A. Crawford: The Overtaking Driver Ergonomics. Vol. 2. No 2, 1963.
26. G. Steierwald: Die erforderliche Sichtweite als fahrdynamisches Problem. Strasse und Autobahn no 6/1963.
27. J. Gustavsson: A Model for Overtaking on a Two-Lane Road with Limited Visibility. Vehicular Traffic Science. Proceedings of the third International Symposium on the Theory of Traffic Flow. 1965.
28. S. Erlander: A Mathematical Model for Traffic on a Two-Lane Road. Vehicular Traffic Science. Proceedings of the third International Symposium on the Theory of Traffic Flow. 1965.
29. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachmänner: Vorschriften und Richtlinien.
30. W. Durth: Die Augenhöhe des Kraftfahrers. Strassenverkehrstechnik. No 11-12/1967.
31. E.W. Hiersche: Die Bedeutung und Ermittlung der Sichtweiten von Strassen. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik. Heft 65. 1968.
32. K. Bollmann: Sichtweite in Knotenpunkt. Strasse und Autobahn. No 8/1968.
33. Heubling, Hiersche: Bemerkungen zur Überarbeitung der Richtlinien für die Anlage von Landstrassen. II Teil: Linienführung. Strasse und Autobahn, no 9/1963.
34. S. Lyly: Teiden näkemäolosuhteiden arviointimenetelmistä. Tvh:lle laadittu julkaisematon muistio.
35. S. Lyly: Suoran ja kaarteisen linjauksen vaikutus näkemiin. Tielehti n:o 2/1969.
36. R. N. Ricket: Policy on Sight Distance, Two-Lane Highways. State of Ohio. Department of Highways. Division of Design and Construction. 1965.
37. Ohio Department of Highways, Bureau of Location and Design: Basic Minimum Design Standards for State Highways. 1967.
38. State of California, Department of Public Works, Division of Highways: Planning Manual of Instructions. 1965.
39. T. Miikkulainen: Teiden geometrian inventointi. Diplomityö. 1968.
40. M. Leskinen: Tien parantamistarpeen tutkimista ja tienopeuden määrittämistä koskevia muistioita. Tiestötoimisto. TVH.
41. Vägplan 1970, Statens offentliga utredningar no 56, 57:1969.
42. Tie- ja vesirakennuslaitos: Normaalimääräykset ja ohjeet, jotka koskevat yleisten teiden suunnittelua, rakentamista ja kunnossapitoa.
43. Bygg V osa 8.
44. Strassenbau von A - Z.
45. Manual of Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways, Bureau of Public Roads.
46. Statens Trafiksäkerhetsverk: Föreskrifter avseende vägmärken och trafikordningar.
47. Trapp: Merkmale der Strassencharakteristik bei einer Abstufung des Landestrassennetzes in vier Strassentypen. Grundlagen der Strassenfrassierung.

A7. NÄKEMIEN MÄÄRÄÄMISPERUSTEET

GEOMETRINEN TOIMIKUNTA

a) NÄKEMÄT JA NÄKEMÄOLOSUHTEET

	sivu
1. YLEISTÄ	1
2. NÄKEMIIN JA NÄKEMÄOLOSUHTEISIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	1
2.1 Maasto ja rakenteet	1
2.2 Tasausviivan muoto	1
2.3 Tielinjan ja tasausviivan yhteisvaikutus	2
2.4 Silmäpisteen, esteen sekä ajoneuvon korkeus ja sijainti tiellä	2
2.5 Muu liikenne	2
3. NÄKEMÄOLOSUHTEIDEN SUUNNITTELU	3
3.1 Mitoitusnäkemät	3
3.2 Näkemien määrääminen ja käyttö voimassa-olevien ohjeiden mukaisesti	3
3.3 Näkemäolosuhteita koskevat vaatimukset	4
4. NÄKEMIEN PITUUKSIEN MITOITUSARVOIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	4
4.1 Nopeus	5
4.2 Pysähtymismatka	5
4.3 Mitoitusajoneuvo	5
4.4 Ajotapahtuman suorittamiseen tarvittavat arviointiajat ja ajoneuvovälit	6
5. ULKOMAISET NORMIT	6
5.1 Ruotsi	6
5.2 Norja	8
5.3 Länsi-Saksa	9
5.4 USA	10
6. EHDOTUS SUUNNITTELUOHJEIDEN LAATIMISPERUSTEIKSI LÄHDELUETTELO	12
	13

b) OHITTAMINEN JA OHITUSNÄKEMÄ

0. Yleistä	1
1. Ohittaminen	1
2. Ohituksen osapuolet	1
3. Ohituksessa käytettävät nopeudet	2
4. Ohitusnäkemän osamatkat	3
5. Supistettu ohitusnäkemä ja mahdollinen ohituskielto	8

A7a NÄKEMÄT JA NÄKEMÄOLOSUHTEET1. YLEISTÄ

Näkemäesteistö vapaata matkaa, jonka ajoneuvon kuljettaja näkee tien suunnassa, nimittäin tiesuunnittelussa näkemäksi.

Tielinjan ollessa suora ja tasausviivan ollessa samalla suora tai kovera on kuljettajan näkemä tien suunnassa rajoittamaton edellyttäen, ettei muu liikenne muodosta näkemäestettä. Tällöin kuljettaja voi nähdä tiellä olevan kohteen niin kaukaa kuin hänen näkökykynsä ja valaistusolosuhteet sallivat. Käytännössä kuitenkin on näkemän pituus yleensä rajoitettu johtuen seuraavista tekijöistä

- maastoesteistä tai rakenteista
- tasausviivan kuperista taitteista
- muusta liikenteestä

Maastoeste tai rakenne voi vaikuttaa näkemän pituutta rajoittavasti tielinjan kaarteissa.

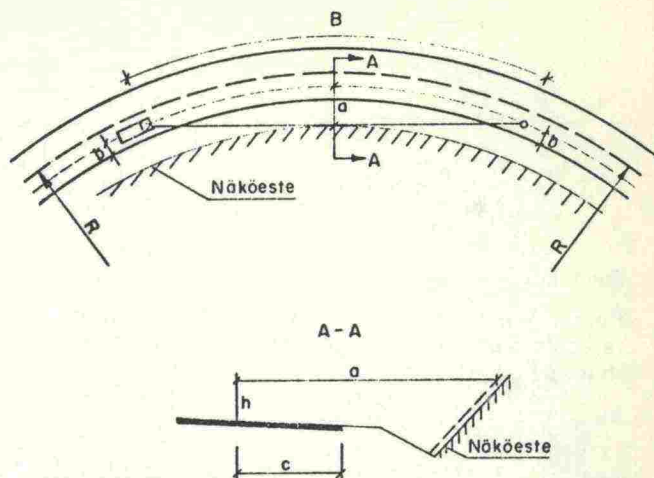
Tasausviivan kuperien taitteiden kohdalla rajoittaa näkemää tien pinta.

Silmäpisteen ja tarkasteltavan kohteen korkeudet vaikuttavat näkemien pituuteen tasausviivan kuperien taitteiden kohdalla ja silmäpisteen sekä kohteen sijainti tien sivusuunnassa vaikuttaa näkemien pituuteen tielinjan kaarteiden kohdalla. Näkemäpituuksia laskettaessa määritellään em. kohde yleensä tien pinnaksi, tiellä olevaksi määrätyn korkuiseksi esteeksi tai ajoneuvoksi.

Jotta tiellä voitaisiin suorittaa turvallisesti ja joustavasti ajoneuvoliikenteelle ominaiset ajotapahtumat, kuten esim. pysähtyminen ja ohittaminen, täytyy tiellä vallita riittävät näkemäolosuhteet kunkin ajotapahtuman suorittamiselle. Näkemäolosuhteiden merkitystä turvallisen, joustavan ja taloudellisen liikennöimisen kannalta on käsitelty yksityiskohtaisesti näiden selvitysten kohdassa A6 "Näkemät tiensuunnittelussa".

2. NÄKEMIIN JA NÄKEMÄOLOSUHTEISIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT2.1 Maasto ja rakenteet

Tielinjan kaarteiden kohdalla on näkemän pituus rajoitettu, mikäli kaarteiden sisäpuolella oleva maasto tai rakenne muodostaa näköesteen. Näköesteen vaikutus näkemän pituuteen on riippuvainen sen etäisyydestä tien reunasta, ympyräkaaren säteestä sekä silmäpisteen ja tarkasteltavan kohteen paikasta (Kuva 1).



Kuva 1.

Näkemän pituuden (B) riippuvuus näköesteen etäisyyden (a), ympyräkaaren säteen (R) sekä silmäpisteen ja tarkasteltavan kohteen sijainnista (b ja c)

Käyttämällä kuvassa 1 esitettyjä merkintöjä sekä olettamalla ajokaistan leveydeksi 1, saadaan näkemän pituudelle seuraava yleinen kaava

$$B = \sqrt{(R-(1-c))^2 - (R-(a+(1-b)))^2} + \sqrt{(R-(1-b))^2 - (R-(a+(1-b)))^2} \quad (1)$$

2.2 Tasausviivan muoto

Tasausviivan kuperan taitteen kohdalla rajoittaa näkemän pituutta tien pinta. Näkemän pituuden riippuvuus pyöristyskaaren säteestä, silmäpisteen ja tarkasteltavan kohteen korkeudesta ilmenee kuvasta 2.

Kuvan 2 merkintöjä käyttäen voidaan näkemän pituudelle kuperan pyöristyskaaren kohdalla johtaa seuraavat kaavat

$$l = x_1 + x_2 \quad (2)$$

josta saadaan kaava 5 sijoittamalla x_1 :n ja x_2 :n tilalle niiden arvot kaavoista 3 ja 4

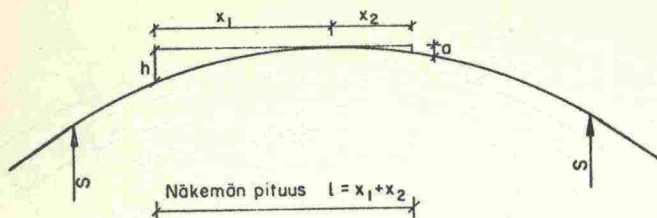
$$h = \frac{x_1^2}{2s} \quad (3)$$

$$a = \frac{x_2^2}{2s} \quad (4)$$

Kaavat 3 ja 4 ovat ympyränkaarella olevan pisteen ordinaatan laskukaavoja.

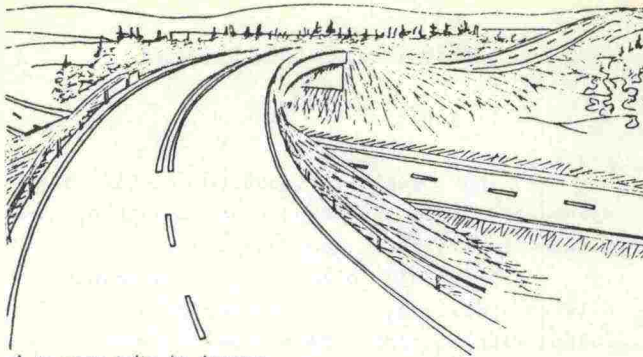
Näkemän pituuden yleinen laskukaava kuperan pyöristyksen kohdalla on

$$l = \sqrt{2 \cdot h \cdot s} + \sqrt{2 \cdot a \cdot s} \quad (5)$$

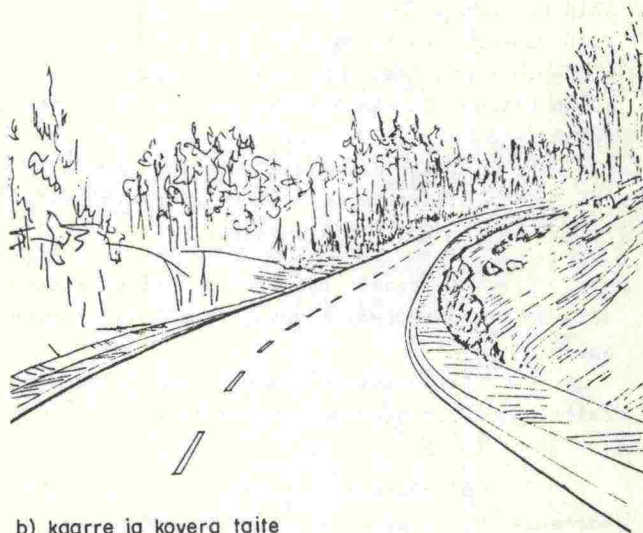


Kuva 2

Näkemön pituuden (l) riippuvuus kuperan pyöristyskaaren säteestä (s) sekä silmäpisteen ja kohteen korkeudesta (h ja a)



a) kupera taite ja kaarre



b) kaarre ja kovera taite

Kuva 3

Tielinjan ja tasausviivan yhteisvaikutuksen vuoksi voi näkemä olla pitempi kuin tasausviivasta tai tielinjasta yksinään määrätty näkemä edellyttää

- silmäpiste ja este sijaitsevat ajoradalla 1,5 m:n etäisyydellä sen ajokaistan oikeasta reunasta, joka antaa lyhimmän näkemän

2.5 Muu liikenne

Vapaan näkemän muodostumista rajoittaa käytännössä usein tiellä liikkuva sekä tielle tai sen välittömään läheisyyteen pysäytetty toinen ajoneuvo. Näkemää rajoittavista ajoneuvoista on haittaa lähinnä ohitustilanteissa, jonoliikenteessä sekä liittymissä.

Ohitustilanteessa on eniten haittaa edellä kulkevasta ajoneuvosta tien kaartaessa loivasti oikealle.

Jonoliikenteessä jonkin syyn, esim. esteen vuoksi äkillisesti jarruttava ajoneuvo voi aiheuttaa peräänajon, koska takaa tuleva ei näe jarrutuksen syytä.

Liittymään tai sen läheisyyteen pysähtyneet ja liittymässä liikkuvat ajoneuvot voivat vaarantaa liikenneturvallisuutta rajoittamalla liittymän näkemää.

2.3 Tielinjan ja tasausviivan yhteisvaikutus

Näkemän pituuden yleinen määrittäminen suoritetaan tielinjan ja tasausviivan vaikutusten osalta erikseen edellä olevien kohtien 2.1 ja 2.2 mukaisesti. Tielinjan ja tasausviivan yhteisvaikutus saattaa antaa tielle sellaisen geometrisen muodon, että tiellä saattaa olla käytännössä paremmat näkemäolosuhteet kuin mitä tielinjan ja tasausviivan erikseen suoritettu tarkastelu osoittaa. Tämä tulee yleensä kysymykseen sellaisissa tapauksissa, joissa tasausviivan kupera pyöristys rajoittaa näkemää pystytasossa, mutta tielinjan kaarteeseen vuoksi tie näkyy kuperaa pyöristystä seuraavalta osaltaan (Kuva 3a) tai tapauksessa, jossa tasausviivan koverassa taitteessa nähdään sivusuunnassa teoreettisesti lasketun esteen ylitykse (kuva 3b)

2.4 Silmäpisteen, esteen sekä ajoneuvon korkeus ja sijainti tiellä

Kohdassa 2.2 on johdettu kaava 5, jolla voidaan määrätä näkemän pituus kuperan pyöristyskaaren kohdalla. Ko. kaavasta voidaan todeta, että näkemän pituus riippuu pyöristyssäteestä sekä silmäpisteen ja tarkasteltavan kohteen korkeudesta.

Kohdassa 2.1 on esitetty näkemän pituuden riippuvuus maasto-olosuhteista ja samassa yhteydessä on johdettu kaava 1 näkemän pituuden laskemiseksi. Ko. kaavasta ilmenee, että näkemän pituus on tielinjan kaarteeseen kohdalla riippuvainen ajoneuvon kuljettajan silmäpisteen ja tarkasteltavan kohteen paikasta.

Silmäpisteen ja tarkasteltavan kohteen, joka tapauksesta riippuen on tien pinta, tiellä oleva este tai ajoneuvo, korkeutta ja sijaintia ajoradalla on yksityiskohtaisesti käsitelty kohdassa A5 "Henkilöauton kuljettajan silmäkorkeus". Mitoituksen lähtökohdiksi ehdotetaan seuraavia arvoja:

- silmäpisteen korkeus 1,10 m
- tiellä olevan esteen korkeus on näkemästä riippuen 0 m tai 0,10 m
- ajoneuvon korkeus 1,10 m

3. NÄKEMÄOLOSUHTEIDEN SUUNNITTELU

3.1 Mitoitusnäkemät

Jotta tulevia näkemäolosuhteita voitaisiin arvostella jo tien suunnitteluvaiheessa, täytyy eri olosuhteissa kysymykseen tulevia ajotapahtumia silmälläpitäen määritellä niitä vastaavat näkemien arvosteluperusteet. Tällaisina arvosteluperusteina tulee määritellä eri ajotapahtumia vastaavat tarvittavat näkemien pituudet, niiden mittaamistavat sekä niiden esiintymistä koskevat vähimmäisvaatimukset.

Kohdassa A6 on esitetty, että turvallisuusnäkökohtien kannalta on tieolosuhteiden perusvaatimus, että jokaisessa tien kohdassa on riittävä näkemä ajoneuvon pysäyttämiseksi. Tätä matkaa, jonka ajoneuvo kulkee kuljettajan tehdessä jarrutuspäätöksen ja reagoidessa sekä jarruttaessa, nimitetään pysähtymisnäkemäksi.

Sellaisissa tapauksissa, joissa kaksi vastakkaisiin suuntiin kulkevaa ajoneuvoa on samalla ajokaistalla, tulee niiden voida pysähtyä yhteenajon välttämiseksi. Jotta tietä voitaisiin arvostella ko. tapahtuman kannalta jo suunnitteluvaiheessa, tulee sitä varten määritellä kohtaamisnäkemä.

Jotta tien näkemäolosuhteita voitaisiin ohituksen kannalta arvostella tien suunnitteluvaiheessa, tulee arvosteluperusteeksi määritellä ohitusnäkemä.

Liittymässä pitää aina voida nähdä toisen tien suuntaan niin pitkä matka, että ajoneuvo voi liittyä turvallisesti toisen tien liikennevirtaan tai kulkea sen poikki. Liittymien näkemäolosuhteita arvostellaan tien suunnitteluvaiheessa liittymisnäkemän perusteella.

3.2 Näkemien määrääminen ja käyttö voimassa olevien ohjeiden mukaisesti

Valtioneuvoston teknillisissä ohjeissa (356/1962) määritellään näkemät seuraavasti:

Pysähtymisnäkemä on matka, minkä etäisyydeltä ajoneuvon kuljettaja voi nähdä tiellä olevan esteen voidakseen normaaliolosuhteissa pysäyttää ohjenopeudella kulkevan ajoneuvonsa ennen tätä estettä.

Kohtaamisnäkemä on matka, minkä etäisyydeltä kahden vastakkaisiin suuntiin ohjenopeudella kulkevan ajoneuvon kuljettajat voivat havaita toistensa ajoneuvot ja normaaliolosuhteissa pysähtyä yhteenajon välttämiseksi.

Ohitusnäkemä on matka, minkä etäisyydeltä ajoneuvon kuljettaja voi nähdä tien suuntaan voidakseen normaaliolosuhteissa ohittaa edel-

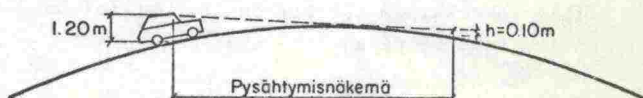
lä kulkevan ajoneuvon ilman että ohituksen alkamishetkellä näkyviin tulevan vastakkaiseen suuntaan kulkevan ajoneuvon tarvitsee vähentää nopeuttaan. Tällöin edellytetään, että ohittava ja vastaantuleva ajoneuvo ajavat ohjenopeudella ja että ohitettavan ajoneuvon nopeus on 15 km/h pienempi.

Vto:n mukaan käytetään edellä mainittuja näkemiä elementtien vähimmäisarvojen määräämisessä, näkemäalueiden mitoituksessa sekä näkemäolosuhteiden arvosteluun niiden vähimmäisesiintymismäärän kannalta.

Vto:n mukaan suoritetaan näkemien perusteella pyörityssäteiden vähimmäisarvojen mitoitus tasausviivan kuperissa taitteissa (Kuva 4). Elementtien vähimmäisarvot on määrätty myös ohitusnäkemän perusteella.

Näkemiä käytetään näkemäalueiden mitoituksessa tien kaarekohdassa, teiden risteyksissä ja liittymissä, tien ja rauta- tai raitiotien risteyksessä sekä paikassa, missä yleinen tie kulkee vesireitin poikki. Etuajo-oikeutettujen tasoliittymien näkemäalueiden mitoitusta varten on em. näkemien lisäksi annettu vapaan näkemän pituudet, jotka alempiluokkaiselta tieltä täytyy näkyä etuajo-oikeutettua tietä pitkin.

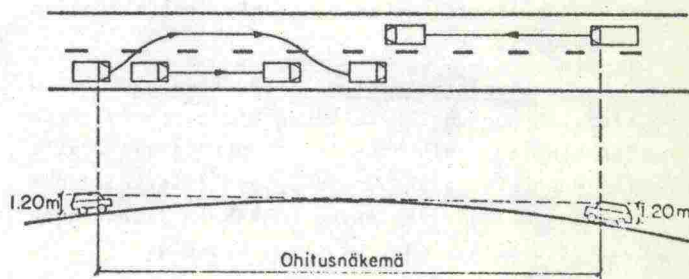
Pysähtymisnäkemä



Kohtaamisnäkemä



Ohitusnäkemä



Kuva 4

Näkemien määräämien kuperissa pyörityksissä Vto:n mukaan

Vapaan näkemän pituuksien määrittäminen varten annetaan vto:ssa seuraavat näkemäolosuhteisiin vaikuttavat mitat:

- näkemäpisteen ja ajoneuvon korkeudeksi oletetaan 1,20 m ja tiellä olevan esteen korkeudeksi 0,1 m
- näkemäpisteen, ajoneuvon ja esteen oletetaan ajoradalla sijaitsevan 1,5 metrin etäisyydellä sen ajokaistan oikeasta reunasta, joka antaa lyhimmän näkemän

3.3 Näkemäolosuhteita koskevat vaatimukset

Näkemäolosuhteita koskevat vaatimuksina on vto:ssa esitetty, että kaksisuuntaiselle liikenteelle tarkoitettulla kaksiajokaistaisella tiellä on mahdollisimman suurella osalla vähintään ohjenopeuden edellyttämä ohitusnäkemä, ohituskelpoisten osuuksien jakaantuessa mahdollisimman tasaisesti ja että mahdollisuuksien mukaan kaikilla muilla tieosilla on kohtaamisnäkemä. Tien jokaisessa kohdassa on kuitenkin vto:n mukaan oltava pysähtymisnäkemä.

Kaksisuuntaiselle liikenteelle tarkoitettulla yksiajokaistaisella tiellä on vto:n mukaan oltava sen kaikissa kohdissa vähintään kohtaamisnäkemä. Mikäli tästä joudutaan kustannussyistä poikkeamaan, on ko. tienkohta osoitettava liikennemerkeillä tai tie on tarpeellisilta osilta tehtävä kaksiajokaistaiseksi.

4. NÄKEMIEN PITUUKSIEN MITOITUSARVOIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Näkemiä pituuksiin vaikuttavia tekijöitä tarkasteltaessa on ensiksi tehtävä oletukset kuhunkin näkemään liittyvästä ajosuorituksesta. Ko. ajosuorituksen osista muodostuvat sitten ne tekijät, joiden perusteella voidaan määrätä näkemien pituuksien mitoitusarvot. Eri näkemiin liittyvät ajosuoritukset oletetaan seuraaviksi:

Pysähtymisnäkemää määrittäessä voidaan tietyllä nopeudella kulkevan ajoneuvon kuljettajan olettaa ensin havaitsevan esteen ajoradalla tai muun syyn ajoneuvonsa pysäyttämiseen, jonka jälkeen kuluu reaktioaika ennenkuin jarrutuksen vaikutus alkaa. Jarrutus voi tapahtua

- a) rajuna hätäjarrutuksena, jolloin hidastuvuus on epämiellyttävä ja kokeuttomalle ajajalle vaarallinen
- b) jarrutuksena, jolloin hidastuvuus on miellyttävyyden rajoilla
- c) miellyttävänä hidastumisena

- a) - tapaus tulee kysymykseen vähimmäispysähtymismatkan määrityksessä
- b) - tapauksista voidaan käyttää mitoituspysähtymismatkan arvoja määrittäessä
- c) - tapaus tulee kysymykseen lähinnä liittymien suunnittelussa mitoitettaessa jarrutuskäaria.

Verrattaessa pysähtymisnäkemään liittyvää ajosuoritusta pysähtymismatkan määritelmään (Kohta A4) voidaan ko. matkojen todeta pituudeltaan olevan samat.

Kohtaamisnäkemää määrittäessä oletetaan vastakkaisiin suuntiin liikkuvien ajoneuvojen pysähtyvän yhteenajon välttämiseksi eli kohtaamisnäkemä on kaksi kertaa pysähtymisnäkemä.

Ohitusnäkemän perusteeksi voidaan ottaa seuraavanlainen kuljettajan käyttäytyminen (Kohta A7b):

- Ennenkuin saavutaan tieosalle, jolla ohitukseen voidaan ryhtyä, ohittaja karkkyy ohitettavan takana tietyn välimatkan päässä ja ajonopeudet ovat samat. Välimatkan ohittaja pitää mahdollisimman lyhyenä supistaakseen ohitusmatkaansa.
- Kun saavutaan tieosalle, jossa ohitus on mahdollinen, ohittajalta kuluu tietty aika tilanteen arvioimiseen ja päätöksen tekoon. Ajonopeudet ovat edelleen samat.
- Tehtyään ohituspäätöksen ohittaja kiihdyttää ajoneuvoaan ohitettavan takana ja aloittaa siirtymisen vastaantulevan liikenteen kaistalle tietyn matkan päässä ohitettavasta. Tällöin ohittaja havaitsee vastaantulevan ajoneuvon ja hänen on päätettävä ohituksen viemisestä loppuun tai sen keskeyttämisestä.
- Ohitus päättyy ohittajan siirtyessä takaisin omalle kaistalleen tietyn matkan päässä ohitettavasta ja vastaantulevasta.

Liittymisnäkemän mitoitusarvoja määrittäessä voidaan liittymätoiminnan olettaa tapahtuvan siten, että liittymään saapuva ajoneuvo pysähtyy, arvioi toisen tien ajoneuvojonossa riittävän välin, jonka jälkeen tapahtuu liittymätoiminnan mukainen ajotapahtuma. Liittymätoimintoja ovat risteäminen, liittyminen, erkaneminen ja sekoittuminen.

Tasoliittymän näkemäalueiden mitoituksen kannalta ovat määrääviä liittymätoimintoja risteäminen ja liittyminen liikennevirtaan. Risteämisessä on kysymyksessä ajoneuvon nopeuden kiihdyttäminen siten, että risteävä ajoneuvo ehtii ylittää toisen tien tai ajoradan ko. tien ajoneuvojen välistä. Liittymisessä on toisen tien liikennevirtaan liittyvän ajoneuvon kiihdytettävä

ajonopeutensa tämän tien ajoneuvojen kanssa samaksi tai muussa tapauksessa nämä joutuvat hilentämään nopeuttaan.

4.1 Nopeus

Nopeuden vaikutus pysähtymisnäkemään ja -matkaan voidaan ilmaista kaavalla 1 (vrt. Kohta A4 ja jäljempänä 2.2)

$$L = t_r \cdot \frac{V}{3.6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f \pm s)} \quad (1)$$

jossa L = pysähtymismatka ja -näkemä (m)
 t_r = reaktioaika (sek)
 V = ajoneuvon alkunopeus (km/h)
 f = keskimääräinen kitkakerroin (-)
 s = tien pituuskaltevuus (-)

Kaavasta 1 voidaan todeta, että ajonopeuden vaikutus pysähtymisnäkemään on reaktioajan osalta suoraan verrannollinen nopeuteen ja jarrutuksen aikana kuljetun matkan pituus on suoraan verrannollinen ajonopeuden neliöön.

Koska kohtaamisnäkemän ajotapahtumassa on kysymys kahden ajoneuvon pysäyttämisestä, on nopeuden vaikutus ko. näkemän pituuteen samanlainen kuin pysähtymisnäkemän pituuteen.

Ohitusnäkemää määrittäessä on tarkasteltava ohitettavan, vastaantulevan ja ohittajan nopeutta. Kohdan A7b mukaan tulee ohitustapahtumaa tarkastella tien mitoitusnopeudesta riippumatta siten, että ohitettavalle valitaan käytännön ohituksissa kysymykseen tulevat ajonopeudet. Ohitusnäkemän pituus on nimittäin riippuvainen olennaisesti ohitettavan nopeudesta, joka on määrittyssään tienkohdassa riippumaton mitoitusnopeudesta. Vastaantulevan ajoneuvon nopeus määrää sen ohituksen aikana kulkeman matkan. Ohittavan ajoneuvon alkunopeutena käytetään yleensä ohitettavan ajoneuvon nopeutta. Ohittajan ajonopeus vaikuttaa matkaan, joka kuluu ohituspäätöstä tehtäessä ja matkaan, jonka ohittava kulkee päätettyään ohituksesta jo ennen siirtymistä vastaantulevan liikenteen kaistalle sekä lisäksi ohittavan nopeus vaikuttaa varsinaiseen ohitusmatkaan (vrt. A7b).

Liittymisnäkemän mitoitusarvoa määrittäessä oletetaan liittymätoimintaa suorittavan ajoneuvon alkunopeus nolaksi. Päättien ajoneuvojen nopeus vaikuttaa sen ajoneuvovälin valintaan, jonka aikana liittymätoiminta suoritetaan sekä sivutieltä saapuvan ajoneuvon liittyessä päättien liikennevirtaan määrää päättien ajoneuvojen nopeus liittymätoimintaa suorittavan ajoneuvon loppunopeuden.

4.2 Pysähtymismatka

Pysähtymismatkan pituus määrätään kohdan A4 mukaan kaavalla 1. Nopeuden lisäksi on ko. kaavassa muuttujina reaktioaika, kitkakerroin ja tien pituuskaltevuus, joiden vaikutusta pysähtymismatkan pituuteen on käsitelty seikkaperäisesti kohdassa A4.

Pysähtymismatkan ja -näkemän keskinäisistä riippuvuudesta on edellä todettu, että ne määrätään samoin perustein ja samalla kaavalla. Pysähtymisnäkemän pituus voidaan siten määrätä käytännön jarrutuskokeiden perusteella ja valitsemalla käytettävä reaktioaika.

Kohtaamisnäkemään liittyvä ajotapahtuma voidaan edellä selostetun mukaisesti käsittää kahden vastakkaisiin suuntiin kulkevan ajoneuvon pysäyttämiseksi, joten kohtaamisnäkemän riippuvuus pysähtymismatkasta on periaatteessa sama kuin pysähtymisnäkemänkin.

Ohitusnäkemän kannalta ei pysähtymismatkalla sinänsä ole merkitystä, sitä vastoin ohitusnäkemän määrittämisessä on otettava huomioon ne hidastuvuudet, joita ohittava ajoneuvo joutuu käyttämään keskeyttäessään ohituksen ja palatesaan oikealle ajokaistalle ohitettavan taakse (vrt kohta A7b)

4.3 Mitoitusajoneuvo

Mitoitusajoneuvon ominaisuuksista vaikuttavat näkemien määrittämisessä hidastuvuus, kiihtyvyys ja ajoneuvon mitat.

Ajoneuvon hidastuvuutta käytetään kaikkien näkemien määrittämisessä (vrt. Kohta 4.2). Ajoneuvojen jarrutusominaisuudet ovat yleisesti niin hyvät, että kitkan sallimat maksimihidastuvuudet ovat saavutettavissa. Mitoituksessa käytettävät kitkakertoimet onkin määritettävä miellyttävyyšnäkökohtien perusteella sekä siten, että ajoneuvon kuljettaja pystyy normaaliolosuhteissa hyvin hallitsemaan ajoneuvonsa jarrutuksen aikana (Kohta A4)

Ajoneuvojen kiihtyvyysominaisuudet vaikuttavat ohitusnäkemän ja liittymisnäkemän määrittämiseen. Kohdassa A7b ilmenee, että ohittajista on n. 92 % henkilöautoja, joten ko. näkemää määrittäessä on tarkoituksenmukaista valita laskentaperusteeksi henkilöauton kiihtyvyyssarvot, jotka on esitetty kohdassa A7b. Liittymisnäkemää määrittäessä vaikuttaa ajoneuvon kiihtyvyysominaisuudet siihen aikaan, joka liittymätoimintaa suorittavalta kuluu risteämiseen, jossa risteävä ajoneuvo lähtee pysähdyksistä ja kiihdyttää ajoneuvoaan mahdollisimman nopeasti toisen tien poikki tai ajoneuvon liittymiseen,

jossa liittyvä ajoneuvo pysähdyksistä lähtien kiihdyttää nopeutensa toisen tien ajoneuvojen nopeutta vastaavaksi.

Ajoneuvon mitat vaikuttavat ohitus- ja liittymisnäkemän pituuteen. Kohdan A7b mukaisesti vaikuttaa ohitusnäkemän pituuteen ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon pituus. Koska molempina osapuolina useimmissa ohitustapauksissa on henkilöauto, on se valittu käytettäväksi mitoitusajoneuvoksi.

4.4 Ajotapahtuman suorittamiseen liittyvät arviointiajat ja ajoneuvovälit

Näkemien pituuksien mitoitusarvoihin vaikuttavat arviointiajat ovat seuraavat: liittymisnäkemän pituuteen vaikuttaa se aika, jonka liittymään saapuvan ajoneuvon kuljettaja käyttää päätien ajoneuvovälin arvioimiseen sekä se aika, joka häneltä tämän jälkeen kuluu reagointiin. Kohdan A7b mukaan vaikuttaa ohitusnäkemän pituuteen ohittajan ohituspäätöksen tekemiseen kuluva aika.

Näkemien pituuksiin vaikuttavia ajoneuvovälejä on tarkasteltava vain ohitusnäkemän kannalta. Ohituksen kannalta on kohdassa A7b tarkasteltu seuraavia ajoneuvovälejä:

- ohittajan ohitettavan välimatka ohituspäätöstä tehtäessä
- ohittajan ja ohitettavan välimatka hetkellä, jolloin ohittaja on siirtymässä vastaantulevan liikenteen kaistalle mutta ei vielä ole ylittänyt keskiviivaa
- ohitettavan ja ohittajan välimatka hetkellä, jolloin ohittaja palaa omalle ajokaistalleen
- ohittajan ja vastaantulevan ajoneuvon välimatka ohittajan palatessa omalle ajokaistalleen

5. ULKOMAISET NORMIT

5.1 Ruotsi

Vapaan näkemän pituutta koskevat vaatimukset on määrätty ohjenopeuteen perustuen. Vapaiden näkemien laskeminen perustuu seuraaviin oletuksisiin: silmäpiste sijaitsee 1,2 m korkeudella ajoradan yläpuolella ja 1,5 m sen ajokaistan sisäpuolella, jolta tulee lyhin näkemäpituus. Esteen korkeus on normaalitapauksessa 0 cm ja poikkeuksellisesti 20 cm ja sijainti ajoradalla sama kuin silmäpisteenkin. Vastaan tulevan ajoneuvon korkeus on 1,40 m.

Pysähtymisnäkemän pituuden lukuarvot ovat samat kuin vähimmäispysähtymismatkan. Arvot ovat vaakasuoran tienpinnan mukaan laskettuja ja perustuvat seuraavaan kaavaan

$$S = vt + \frac{v^2}{2gf} \quad (2)$$

jossa v = alkunopeus

t = reaktioaika, jonka suuruus on 3 sek nopeudessa 50 km/h ja 1,5 sek nopeudessa 100 km/h; väliarvot saadaan suoraviivaisella interpoloinnilla

g = maan vetovoiman kiihtyvyys $9,8 \text{ m/s}^2$

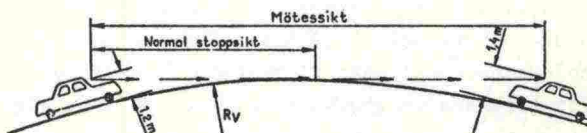
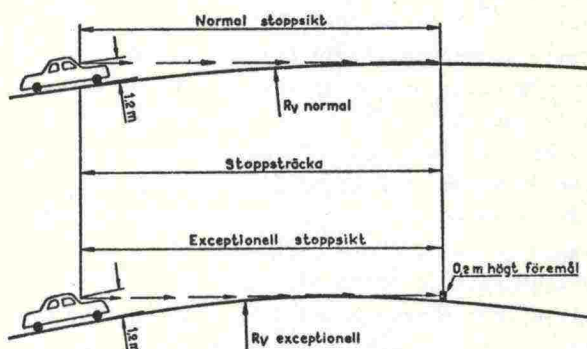
f = kitkakerroin, joksi on valittu 0,5, mikä vastaa $4,9 \text{ m/s}^2$ hidastuvuutta

Hidastuvuus $4,9 \text{ m/s}^2$ todetaan ohjeissa epämiellyttäväksi ja vaaralliseksi muulle liikenteelle. Miellyttävän hidastuvuuden raja-arvoksi on annettu $2,6 \text{ m/s}^2$, joka saavutetaan kun pysähtymisnäkemäksi valitaan kaksinkertainen vähimmäispysähtymismatka. Näin saatua pysähtymisnäkemää tulee ohjeiden mukaan käyttää siellä, missä pysähtyminen on verraten säännöllistä. Pituuskaltevuuden vaikutuksen huomioon ottamiseksi on annettu kaava

$$S = vt + \frac{v^2}{2g(f+i)} \quad (3)$$

jossa i = tien pituuskaltevuus ja muut merkinnät kuten kaavassa 2

Pysähtymisnäkemän mittaaminen on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5

Pysähtymis- ja kohtaamisnäkemän määrittäminen kuperassa taitteessa Ruotin normien mukaan

Kohtaamisnäkemä määritellään samalla tavalla kuin Suomessa ottaen kuitenkin huomioon, että ajoneuvon korkeus on 1,4 m (Kuva 5). Kohtaamisnäkemän lukuarvot on annettu ohjenopeuteen sidottuina vaakasuoran tienpinnan mukaan laskettuina.

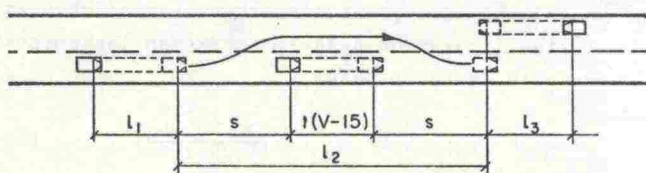
Ohitusnäkemä määritellään samalla tavalla kuin Suomessa. Lukuarvot on laskettu seuraavien lähtöarvojen pohjalta.

- 1) Ohitettavan nopeus on vakio ja se on 15 km/h alhaisempi kuin ohjenopeus
- 2) Ohittaja ajaa samalla nopeudella kuin ohitettava ennen ohittamisen aloitusta
- 3) Ohittaja tarvitsee tietyn ajan ohituspäätöksen tekoon
- 4) Ohittaja kiihdyttää koko ohitusprosessin ajan
- 5) Vastaantuleva ajoneuvo tulee näkyviin ohituksen alkaessa ja ajaa ohjenopeudella

Seuraavassa esitetään ohitusnäkemän pituuden määrittäminen. Ohitusnäkemän pituus lasketaan kaavalla (Kuva 6)

$$L = l_1 + l_2 + l_3 \quad (4)$$

jossa l_1 = reaktio- ja havaintoaikana kuljettu matka
 l_2 = varsinaisen ohituksen aikana kuljettu matka
 l_3 = vastaantulevan ajoneuvon ohituksen aikana kulkema matka



Kuva 6

Ohitusnäkemän määrittäminen Ruotsin ohjeiden mukaan

Ohituksen osamatka l_1 lasketaan kaavasta

$$l_1 = t_r \cdot (V - 15) \cdot \frac{1000}{3600} \quad (5)$$

jossa t_r = reaktioaika 3 sek
 V = ohjenopeus (km/h)

Kahden samalla nopeudella ajavan ajoneuvon välimatkan (s) on havaittu olevan

$$s = \frac{V - 15}{5.25} + 6,1 \quad (6)$$

jossa V = ohjenopeus (km/h)

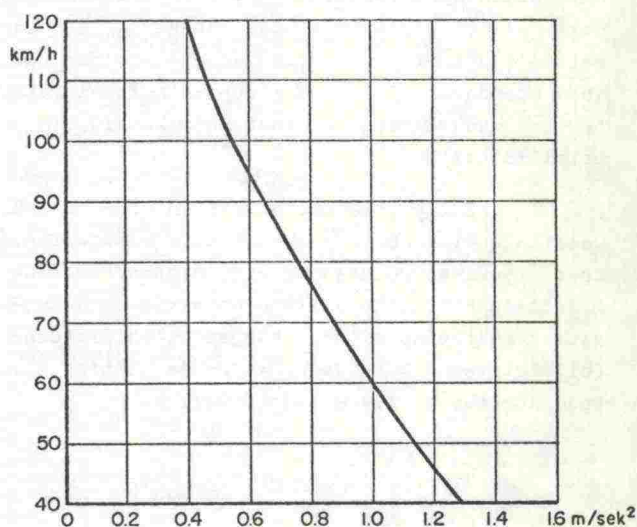
Kuvassa 6 merkityn matkan pituus l_2 voidaan laskea kaavasta 7.

$$l_2 = 2s + \frac{V - 15}{3.6} \cdot t \quad (7)$$

jossa s = ajoneuvoväli (m) kaavasta 6
 V = ohjenopeus (km/h)
 t = ohitukseen kuluva aika, joka voidaan laskea kaavasta

$$t = 2 \cdot \sqrt{\frac{s}{a}} \quad (8)$$

kun kiihtyvyys (a) on kuvassa 7 esitetyn mukainen



Kuva 7

Kiihtyvyyden riippuvuus nopeudesta

Kuvaan 6 merkityn ohituksen osamatkan l_3 pituus lasketaan kaavasta

$$l_3 = \frac{V}{3.6} \cdot t \quad (9)$$

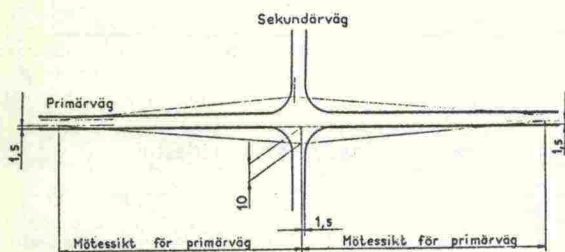
jossa V = ohjenopeus (km/h)
 t = ohitusaika (sek)

Edellä esitetyllä tavalla määrättyä ohitusnäkemää nimitetään täydelliseksi ohitusnäkemäksi (fullgod omkörningssikt). Sen rinnalla on normeissa mainittu rajoitettu ohitusnäkemä (begränsad omkörningssikt), jolla tarkoitetaan kohtaamisnäkemän ja täydellisen ohitusnäkemän välille asettuvaa näkemäpituutta. Täydellisen ohitusnäkemän arvot on ohjeissa annettu ohjenopeuteen sidottuina ja vaakasuoran tienpinnan mukaan laskettuina. Rajoitetusta ohitusnäkemästä todetaan, että sen vallitessa voidaan ohituksia suorittaa, mikäli ohitettavan nopeus on enemmän kuin 15 km/h ohjenopeutta pienempi. Ohitettavan nopeuden tulee olla sitä pienempi mitä lähempänä rajoitettu ohitusnäkemä on kohtaamisnäkemää. Li-

säksi todetaan, että teoreettisten laskelmien mukaan voidaan kohtaamisnäkemän vallitessa aloitettu ohitus joko viedä loppuun tai keskeyttää vaiheessa, jossa ajoneuvot ovat rinnakkain, kun ohitettava ajoneuvo on pienekkö ja ajaa 15 km/h ohjenopeutta alhaisemmalla nopeudella. Käytännön tutkimusten puuttuessa ei tätä seikkaa vielä ole otettu määritysperusteeksi.

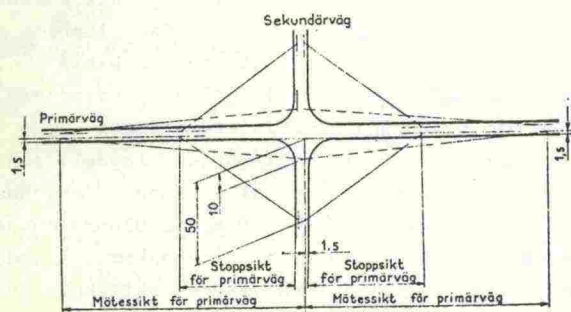
Näkemävaatimuksina on Ruotsin normeissa esitetty, että yksiajokaistaisella tiellä täytyy sen jokaisessa kohdassa olla kohtaamisnäkemä tai muussa tapauksessa tie on tehtävä kaksiajokaistaiseksi. Kaksiajokaistaisilla teillä ja vaiheittaisrakennettavilla moottoriteillä vaaditaan sekä pysähtymis- että kohtaamisnäkemä. Kaksiajorataisilla teillä vaaditaan niiden yleisen korkean standardin ja mahdollisen vaiheittainrakentamisen vuoksi samat näkemät kuin kaksiajokaistaisilla teillä.

Liittymissä tulee Ruotsin normien mukaan vallita kuvissa 8, 9 ja 10 esitetyt näkemäolosuhteet. Kuvista voidaan todeta, että näkemäalue määrätään kohtaamisnäkemään perustuen. Näkemäalueet määrätään siten, että sivutien pisteen (silmäpisteen) korkeus on 1,2 m ja päätien pisteen korkeus on 1,4 m (ajoneuvo).



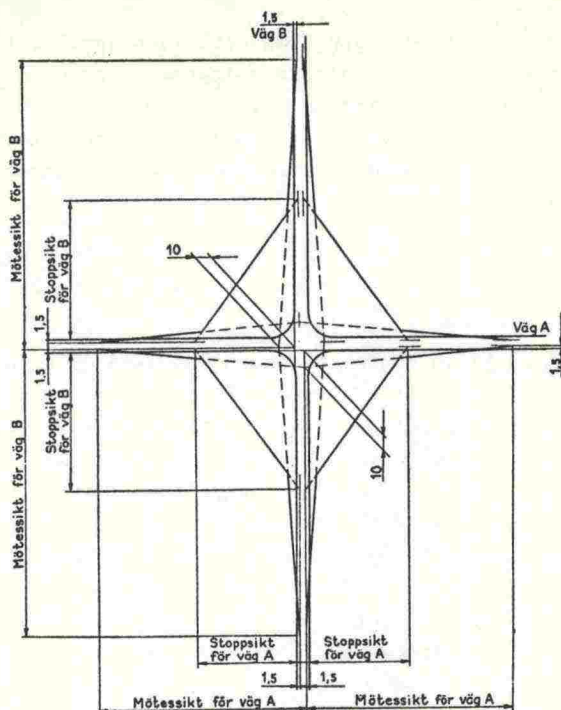
Kuva 8

Näkemäalueet liittymässä, jossa sivutieltä tulevalla on pysähtymispakko



Kuva 9

Näkemäalueet tasa-arvoisten teiden tasoliittymässä



Kuva 10

Näkemäalueet tasa-arvoisten teiden tasoliittymässä

5.2 Noria

Silmäpisteen korkeus on 1,2 m ja se sijaitsee keskellä ajokaistaa. Esteen korkeus on 0,1 m ja sen sijainti on sama kuin silmäpisteenkin. Vastaantulevan ajoneuvon korkeus on 1,4 m. Näkemät mitataan pitkin ajokaistan keskiviivaa.

Pysähtymisnäkemän lukuarvot ovat samat kuin vähimmäispysähtymismatkan. Graafisten esitysten lisäksi on pysähtymisnäkemän laskemiseksi annettu seuraava kaava

$$L_s = 0,25 t_r V + \frac{\pi \cdot V^2}{1000 (f+s)} \quad (10)$$

jossa L_s = pysähtymisnäkemä (m)
 V = ohjenopeus (km/h)
 f = kitkakerroin
 s = pituuskaltevuus desimaalilukuna
 t_r = reaktioaika

- 3 sek moottoriteillä ja liittymärajoitetuilla teillä
- 2 " liittymäsäännöstelyillä ja -vapailta teillä
- 1,5 " kaduilla, jotka kuuluvat valtatieverkkoon

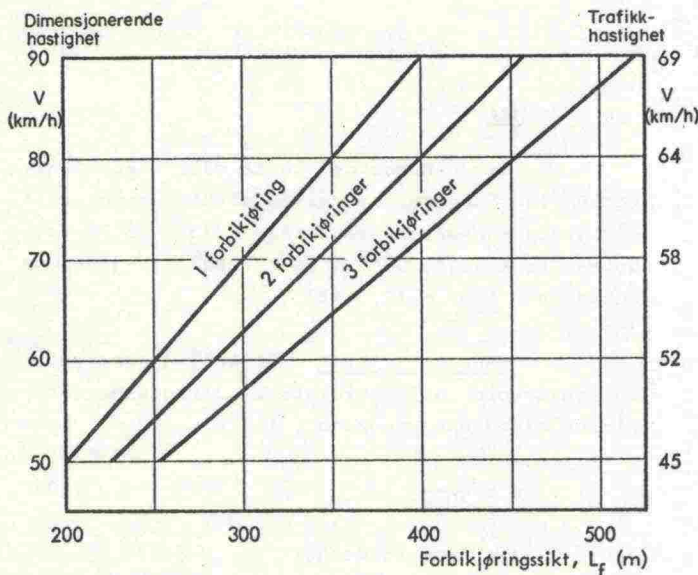
Kohtaamisnäkemä määritellään vapaana näkemänä samalla kaistalla vastaan tulevaan 1,4 m korkeaan ajoneuvoon.

Kohtaamisnäkemä on näiden kahden ajoneuvon pysähtymisnäkemien summa lisättynä 5...10 metrillä. Lukuarvot on annettu vaakasuoran tien-

pinnan mukaan laskettuina, koska pituuskaltevuuk-sien on yleensä todettu kumoavan toisensa.

Ohitusnäkemän määäämisperusteita ei ole yksityiskohtaisesti selvitetty. Ohitettavan ajoneuvon nopeuden on oletettu olevan 15 % alhaisemman kuin liikennenopeuden jolla tarkoitetaan ajoneuvojen keskinopeutta tietyn tieosan liikennevirrassa.

Ohitusnäkemän pituudet on esitetty kuvassa 11. Siitä on huomattava, että ohitusnäkemän pituudet on annettu erikseen yhtä, kahta ja kolmea ohitettavaa ajoneuvoa varten.



Kuva 11

Ohitusnäkemät norjalaisten ohjeiden mukaan

Näkemäolosuhteita koskevat vaatimukset ovat riippuvaisia tien mitoitussuoritteesta, tietyyppistä ja tieluokasta. Tieluokassa I vaaditaan kaikkialla vähintään pysähtymisnäkemää, tieluokassa III vaaditaan myös kohtaamisnäkemää ja tieluokassa II pyritään kaikkialla tyydyttävään kohtaamisnäkemään. Vilkkaasti liikennöidyillä teillä täytyy olla mahdollisimman jatkuva kohtaamisnäkemä, joka myötävaikuttaa huomattavasti vapaaseen ja turvalliseen liikennöintiin.

Pienille nopeuksille mitoitetuilla teillä on näkemävaatimukset asetettu ennustetusta ajonopeudesta riippuviksi, koska ajonopeudet tulevat ylittämään tien mitoitussuoritteiden tiettyillä tieosilla. Tien linjauksen muuttuessa huomattavasti, täytyy näkemäolosuhteet suunnitella sellaisiksi, että tieolosuhteiden muutokset voidaan havaita riittävän kaukaa.

Liittymisnäkemästä on Norjan normeissa esitetty, että sivutieltä saapuvan ajoneuvon tulee voida nähdä riittävän kauas päätien suuntaan, että kuljettaja ehtii arvioida päätien ajoneuvovälin tarpeeksi pitkäksi liittymätoiminnan suorittamisen kannalta tai ehtii vielä py-

sähtyä. Päätien ajoneuvojen oletetaan ajavan mitoitussuoritteella. Väistävän ajoneuvon kuljettajan silmäpisteen korkeutena käytetään 1,2 m ja päätien ajoneuvon korkeutena 1,4 m.

5.3 Länsi-Saksa

Silmäpisteen korkeus on 1,2 m, esteen korkeus 0,0 m ja vastaantulevan ajoneuvon korkeus 1,2 m. Näkemät mitataan 2-ajokaistaisilla teillä pitkin ajoradan keskiviivaa ja useampi-kaistaisilla pitkin tarkastellun ajokaistan keskiviivaa.

Pysähtymisnäkemän pituus on sama kuin vähimmäispysähtymismatka, jota laskettaessa on reaktioaikana käytetty 1,0 sekuntia. Pysähtymisnäkemän pituus määrätään kaavalla

$$S_h = \frac{V_c}{3.6} + \frac{V_c^2}{3.6^2 \cdot 2g(f + \frac{s}{100})} \quad (11)$$

jossa S_h = pysähtymisnäkemä (m)
 V_c = suunnittelunopeus (km/h)
 g = maan vetovoiman kiihtyvyys (m/s^2)
 f = sivukitkakerroin (-)
 s = pituuskaltevuus (%)
 $\frac{V_c}{3.6}$ = reaktio- ja toiminta-aikana kuljettu matka (m)

Kohtaamisnäkemää ei Saksan normeissa määritellä.

Ohitusnäkemälle on määrätty kahdet erilaiset arvot ohituksen suorittamistavasta riippuen (Kuva 12). Täydellinen ohitusnäkemä on kysymyksessä silloin, kun ohituksen katsotaan alkavan ohittajan ollessa ohitettavan takana ja supistettu ohitusnäkemä silloin, kun ohitushetken alkaessa on ohittaja jo ohitettavan rinnalla.



Kuva 12

Ohitusnäkemän määrittäminen saksalaisten ohjeiden mukaan

Ohitusnäkemien pituudet ovat taulukossa 1 esitetyn mukaiset.

Suunnittelunopeus (km/h)	Täydellinen ohitusnäkemä (m)	Supistettu ohitusnäkemä (m)
60	350	250
80	450	300
100	600	400

Taulukko 1

Ohitusnäkemien pituudet Saksan normien mukaan

Suunnitteluohjeissa on korostettu riittävien näkemien merkitystä toteamalla, että ohitusnäkemien tulisi sijoittua tasaisesti koko tieosalle ja että niitä tulisi olla vähintään taulukossa 2 esitetty määrä suhteessa koko tieosaan.

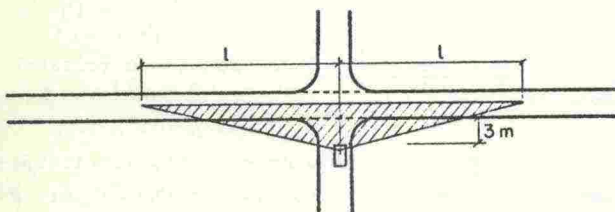
v	Vähimmäisohitusmatkan pituisten tai pitempien näkemien vähimmäisosuus liikenteen ollessa valmistumishetkellä hay/vrk		
	1000...2000	2000...3000	3000
60	1/4	1/3	1/3
80	1/4	1/3	1/2
100	1/3	1/3	1/2

Taulukko 2

Ohitusnäkemän vähimmäismäärä suhteessa tien pituuteen Saksan normien mukaan

Liittymisnäkemää tarkastellaan kolmen eri tapauksen kannalta.

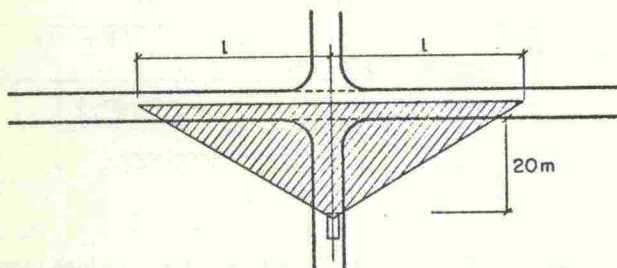
1. Väistämisvelvollisella liikenteellä on oltava riittävät näkemäolosuhteet päättien suuntaan (Kuva 13).



Kuva 13

Näkemä väistämisvelvollisessa liittymässä

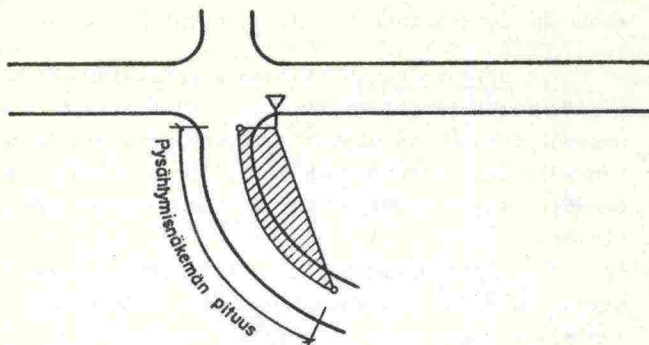
2. Lähestyttäessä liittymää tulee saada yleiskuva liittymästä (Kuva 14).



Kuva 14

Lähestymisnäkemä liittymässä

3. Näkemäolosuhteiden tulee olla ennen liittymää niin hyvät, että ajoneuvo voi mitoittavalla nopeudella (ohjenupeus + 20 km/h) ajaessaan pysähtyä ennen liittymää (Kuva 15).



Kuva 15

Näkemä liittymää lähestyttäessä

5.4 USA

Tien näkemäolosuhteita määrittäessä käytetään lähtökohtana seuraavia oletuksia: silmäpisteen korkeutena käytetään 1,15 m (3,75 ft), esteen korkeutena 0,15 m (6 tuumaa) ja ajoneuvon korkeutena 1,37 m (4,5 ft).

Pysähtymisnäkemä määritellään samanpituisiksi kuin pysähtymismatka. Jarrutusmatkan pituus määritetään kaavalla

$$d = \frac{V^2}{30 f} \quad (12)$$

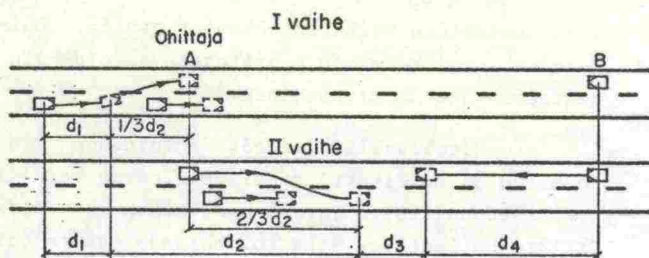
jossa d = jarrutusmatka (ft)
 V = ajonopeus (mph)
 f = kitkakerroin (-)

Pysähtymismatkaa laskettaessa käytetään reaktioaikana 2,5 sekuntia. Kitkakertoimen arvo määritetään erikseen märälle ja kuivalle päällyställe ja sen arvo on riippuvainen myös nopeudesta. Ajonopeus on määritetty päällysteellä 5...15 % pienempi kuin kuivalle päällysteellä.

Kohtaamisnäkemää ei USA:n ohjeissa määritellä.

Ohitusnäkemän määrittäminen perustuu seuraaviin oletuksiin (Kuva 16):

- 1) Ohitettava ajoneuvo ajaa tasaisella nopeudella
- 2) Ohitettava ajoneuvo ajaa samalla nopeudella ohitettavan ajoneuvon takana, kun tullaan sellaiselle vyöhykkeelle, missä ohitus on mahdollinen
- 3) Ohitusvyöhykkeelle saavuttuaan ajaja tarvitsee hieman aikaa todetakseen ja aloittaakseen ohituksen. (Reaktion ja alkukiihdytyksen aikana kuljettu matka = d_1)



Vastaan tuleva ajoneuvo on nähtävissä kun ohittaja on saavuttanut kohdan A

Kuva 16

Ohitusnäkemän määrittäminen USA:n ohjeiden mukaan

$$d_1 = t_1 \left(v - m + \frac{at_1}{2} \right) \quad (13)$$

t_1 = ohituksen alkuvaiheeseen käytetty aika

a = keskimääräinen kiihtyvyys

v = ohittavan ajoneuvon keskimääräinen nopeus

m = ohittavan ja ohitetun ajoneuvon nopeuksien erotus

- 4) Varsinaisen ohituksen alkaessa siirtyy ohittava ajoneuvo vasemmalle ajokaistalle samalla kiihdyttäen. Ohittavan ajoneuvon keskimääräinen nopeus ohituksen aikana on 16 km/h (10 mailia/h) korkeampi kuin ohitettavan ajoneuvon nopeus. (Vasemman ajokaistan käytön aikana kuljettu matka = d_2)

$$d_2 = v \cdot t_2 \quad (14)$$

v = ohittavan ajoneuvon nopeus

t_2 = vasemman ajokaistan käyttöaika

- 5) Kun ohittava ajoneuvo on siirtynyt ohituksen jälkeen takaisin omalle ajokaistalleen, jää ohittavan ja vastaantulevan ajoneuvon väliin sopiva välimatka (d_3)

$$d_3 = 33 \dots 90 \text{ m} \quad (15)$$

- 6) Vastaantulevan ajoneuvon ohituksen aikana kulkema matka on d_4 . Tätä matkaa laskettaessa ei oteta koko ohitukseen tarvittavaa aikaa huomioon, vaan ainoastaan se aika, joka tarvitaan matkan $2/3 d_2$ kulkemiseen

$$d_4 = \frac{2}{3} d_2 \quad (16)$$

Käytännön kokeissa v. 1938...1941 on todettu, että ohitettavan nopeus on yleensä n. 16 km/h pienempi kuin ohittajan. Taulukossa 3 on esitetty muut ohitusnäkemän laskemiseen tarvittavat kokemukseräiset arvot.

Näkemävaatimuksina korostetaan USA:n ohjeissa riittävän pitkien ohituskelpoisten osuuksien merkitystä sekä sitä, että ohitusnäkemät jakaantuvat mahdollisimman tasaisin välein. Ohituskelpoisten osuuksien pituuksien ja toistumisvälien todetaan riippuvan maaston topografiasta, tien mitoitusnopeudesta ja kustannuksista. Tarkkoja vaatimuksia ohitusnäkemän esiintymisen määrästä ei anneta, vaan se tulee selvittää kussakin tapauksessa erikseen liikenteenvälityskytarkasteluihin perustuen.

Ohittavan ajoneuvon nopeus (km/h)	48...64	64...80	80...96
Keskimääräinen ohitusnopeus (km/h)	56	70	84
<u>Ohituksen alkuvaihe:</u>			
a = keskimääräinen kiihtyvyys (m/s^2)	0,62	0,64	0,65
t_1 = aika (sek)	3,6	4,0	4,3
d_1 = kuljettu matka (m)	43	64	87
<u>Vasemman ajokaistan käyttö:</u>			
t_2 = aika (sek)	9,3	10,0	10,7
d_2 = kuljettu matka (m)	142	192	247
Ajoneuvojen välimatka d_3 (m)	30	54	75
Vastaantuleva ajoneuvo (m)	94	128	165
"Ohitusnäkemä" yhteensä (m)	309	438	574

Taulukko 3

Ohitusnäkemän pituuden määrittämisessä käytettävät lähtöarvot

Liittymisnäkemän määrittäminen on riippuvainen siitä, onko liittymässä pysähtymispakko vai teiden etuajo-oikeussuhteet järjestetty muuten. Jälkimmäisessä tapauksessa on näkemäolosuhteiden oltava riittävät liittyvän ajoneuvon nopeuden muuttamiseen sopivaksi päätien nopeuden kanssa tai pysähtymiseen. Jos liittyvältä tieltä tulevalla on pysähtymisvelvollisuus, on ko. ajoneuvon kuljettajan voitava pysähtymispaikaltaan nähdä päätien ajoneuvojonossa riittävä väli päätien turvallisen risteämisen kannalta.

6. EHDOTUS SUUNNITTELUOHJEIDEN LAATIMIS- PERUSTEIKSI

Näkemäolosuhteiden suunnittelun kannalta tulee ohjeissa määrätä kohdassa 3.1 esitettyjen näkemien mitoitusravot, näkemäolosuhteita koskevat vähimmäisvaatimukset sekä näkemäolosuhteiden arviointimenetelmät.

Kohdassa 4 on esitetty ne tekijät, jotka vaikuttavat näkemien pituuksien mitoitusravoihin. Siitä voidaan todeta, että olosuhteista riippuen saattavat näkemän pituudet vaihdella hyvin laajoissa rajoissa. Jotta käytännön suunnittelutyössä voitaisiin kuitenkin suunnitella näkemäolosuhteita yksikäsitteisesti, ehdotetaan kullekin näkemälle määrättäväksi yleensä käytetty mitoitusravonsa, mitoituskäytäntö, joka on määrätty tiettyjen normaaliolosuhteiden mukaan ja on siten riippuvainen vain mitoituskäytännöstä. Poikkeuksellisia olosuhteita silmällä pitäen tulee ohjeista ilmetä näkemäpituuden määrittämistapa

Mitoituspysähtymisnäkemän pituus ehdotetaan määrättäväksi kohtien 4.1 ja 4.2 mukaisesti siten, että reaktioaika ja jarrutusmatka otetaan käytännön kokeista (Kohta A4). Pysähtymismatkan laskeminen voidaan olosuhteista riippuen suorittaa kaavalla 1. Pysähtymisnäkemän määritelmä tulee olla samanlainen kuin vto:ssa ja se mitataan siten, että silmäpisteen korkeus on 1,1 m ja esteen korkeus on 0,0 tai 0,1 metriä.

Mitoituskohtaamisnäkemän pituus on yksikäsitteinen mitoituspysähtymisnäkemään verrattuna johtuen em. näkemien määrittämisestä (Kohta 3.1). Kohtaamisnäkemän pituus voidaan yleisesti laskea kaavalla 1 kertomalla siitä saatava arvo kahdella. Kohtaamisnäkemän mittaaminen suoritetaan käyttämällä ajoneuvojen korkeutena 1,1 metriä.

Mitoitusohitusnäkemän pituuden määrittäminen suoritetaan kohdan A7b mukaisesti. Vaikka ohitusnäkemän mitoitusravon pituus onkin riippuvainen etupäässä ohitettavan nopeudesta, tulee ko. näkemän pituudet antaa ohjeissa mitoituskäytännöstä riippuvina, jolloin päästään yhdenmukai-

seen käytäntöön kaikkien näkemien osalta. Ohitusnäkemän mittaaminen suoritetaan samoin kuin kohtaamisnäkemän mittaaminen.

Mitoitusliittymisnäkemän pituuden määrittäminen on selvitetty tekeillä olevien tasoliittymien suunnitteluohjeiden laatimisen yhteydessä. Tällöin on todettu, että ko. näkemän osalta voidaan kohdassa 4 esitetyt näkökohdat yhdistää ja määrätä näkemän pituus raja-aikaväliin perustuen. Raja-aikavälillä tarkoitetaan sitä ajoneuvojen aikaväliä, joka on riittävä liittymistoiminnan suorittamiseksi, joten se sisältää arviointi-, reaktio- ja kiihdytysajan. Mitoitusliittymisnäkemän pituus lasketaan perustuen mitoitusraja-aikaväliin, joka on määrätty raja-aikavälihavaintojen perusteella. Liittymisnäkemä mitataan liittyvän tien ajoneuvon kuljettajan silmäpisteestä päätien ajoneuvon.

Näkemäolosuhteita koskevia vaatimuksia on käsitelty yksityiskohtaisesti kohdassa A6 "Näkemät tiensuunnittelussa". Eri tyyppisiltä teiltä vaaditaan seuraavat näkemäolosuhteet

- yksiajokaistaisella kahteen suuntaan liikennöidyllä tiellä tulee sen kaikissa kohdissa olla mitoituskäytäntö- näkemä tai tie on tehtävä kaksiajokaistaiseksi ko. kohdissa
- kaksiajokaistaisella kahteen suuntaan liikennöidyllä tiellä tulee olla sen kaikissa kohdissa mitoituspysähtymisnäkemä. Lisäksi tiellä tulee olla riittävästi ohituskelpoisia kohtia ja tiellä tulee olla sen luokasta riippuen mitoitushitusnäkemää pitempiä näkemäosuuksia vähintään taulukossa 4 esitetty määrä

Tien toiminnallinen luokka	Mitoitusohitusnäkemän esiintymisen vähimmäismäärät (%)
Päätie	30
Kokoojatie	25
Yhdystie	20

Taulukko 4

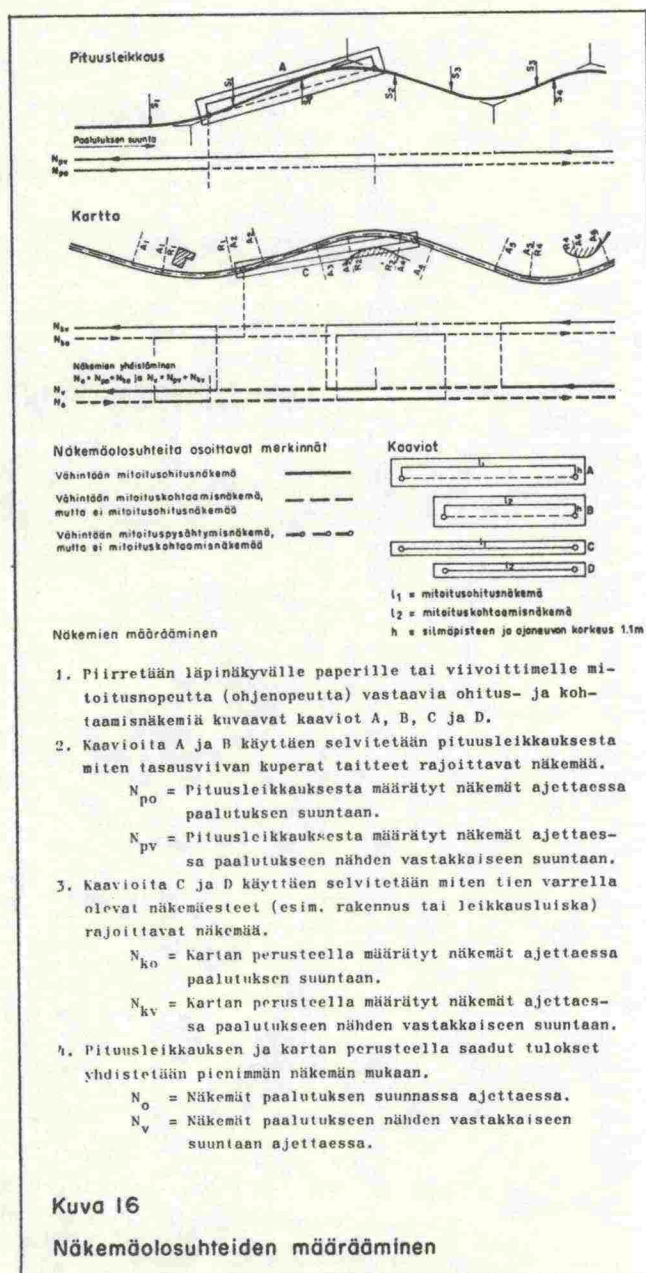
Mitoitusohitusnäkemän esiintymisen vähimmäismäärät

- neli- tai useampikaistaisilla teillä tulee olla kaikissa kohdissa mitoituspysähtymisnäkemä
- kaikissa tasoliittymissä tulee liiketurvallisuuden vuoksi olla riittävä näkemä liittymätoiminnan suorittamiseksi. Kaikissa liittymissä tulee olla siten mitoituliittymisnäkemän perusteella määrätty näkemäolosuhteet.

Kohdassa 2 on esitetty ne tekijät, jotka vaikuttavat näkemäolosuhteita rajoittavasti. Näiden tekijöiden tarkka huomioon ottaminen suunnitteluvaiheessa tapahtuu kohdan 2.3 mukaan tarkasti vain piirtämällä riittävästi perspektiivikuvia. Käytännössä ei yleensä ole tarkoituksenmukaista näin menetellä, vaan riittävän tarkkaan lopputulokseen päästään likimääräisillä keinoilla. Ohjeet näkemäolosuhteiden määrittämisestä ehdotetaan laadittavaksi kuvassa 17 esitetyllä periaatteella. Siinä määrätään näkemät erikseen tielinjan ja tasausviivan osalta ja yhdistetään niistä saadut tulokset siten, että näkemä vallitsee käytännössä silloin, kun sekä maaston että tasausviivan vaikutuksen puolesta saadaan tarkasteltava näkemä.

LÄHDELUETTELO

- 1) Valtioneuvoston päätös, joka sisältää teknilliset ohjeet yleisten teiden tekemisestä ja kunnossapidosta sekä ohjeet näkemäalueen määrittämisestä.
- 2) Statens Vägverk: Normer och anvisningar för vägars planläggning, utforming och utförande. 1967.
- 3) Statens Vegvesen: Vegnormaler. Geometrisk utforming. Vegdirektoratet 1968.
- 4) Strassenbau von A-Z
- 5) American Association of State Highway Officials: A Policy on Geometric Design of Rural Highways. 1965.
- 6) Vägplan 1970, Statens offentliga utredningar no 56, 57: 1969.
- 7) K Bollman: Sichtweite in Knotenpunkt. Strasse und Autobahn. No 8/1968.



Kuva 16

Näkemäolosuhteiden määrittäminen

OHITTAMINEN JA OHITUSNÄKEMÄ

0. Yleistä

VTD:ssa (356/1962) eri ohjenopeuksille määrittelyjen ohitusnäkemien lukuarvot perustuvat edellytykseen, että ohittava ja vastaantuleva ajoneuvo ajavat tien ohjenopeudella ja ohitettava 15 km/h tätä pienemmällä nopeudella. Määrittelytapa on samanlainen kuin Ruotsissa tähän asti käytetty. Ohitusnäkemien lukuarvot ovat myös toisiaan vastaavia.

Sekä Suomessa että Ruotsissa käytetty ohitusnäkemän määrittely pohjautuu amerikkalaisiin tutkimuksiin. Oleellinen eroavuus on siinä, että USA:ssa on ohitettavan nopeudeksi valittu tiesosan keskiarvopeus liikennemäärän ollessa keskimääräinen (intermediata valume / overage running speed). Samoin on menetelty muissakin maissa, esim. Saksassa, jossa ohitusnäkemien ohjearvot niin ikään perustuvat amerikkalaisiin tutkimuksiin.

Ohittajan nopeuden keskiarvon on USA:ssa todettu olevan n. 16 km/h ohitettavan nopeutta korkeampi sinä aikana, kun vastaantulevan liikenteen kaistaa käytetään. Vastaantulevan ajoneuvon nopeuden oletetaan yleisesti olevan saman kuin ohittajan.

Ohitusnäkemää koskevat ohjearvomme poikkeavat siis määrittelyltään oleellisesti muiden maiden paitsi Ruotsin käytännöstä ohitettavan ajoneuvon nopeuden valinnassa.

1. Ohittaminen

Kuljettaja-aineksen ja ajoneuvojen koostumuksen epähomogenisuuden vuoksi on vaikeata muodostaa selvää yleiskäsitystä siitä, kuinka ohitus suoritetaan. Kukin kuljettaja kehittää oman ohitustyylin, joka riippuu osaksi myös hänen ajoneuvonsa ominaisuuksista. Aikoesseen ohittaa edellä kulkevan ajoneuvon kuljettaja harkitsee tie- ja liikenneolosuhteiden perusteella vaaratilanteen syntymisen mahdollisuuksia. Mikäli vastaantuleva ajoneuvo on näkyvässä, on ohitusta aikovan kuljettajan arvioitava välimatkan pituus ja verrattava tätä välimatkaa sen matkan pituuteen, joka on tarpeen ohituksen suorittamiseksi.

Suomessa ei ole perusteellisesti selvitetty ohituksen teknillistä suorittamista. Ohitustarpeesta, jonoista ja ajonopeuksista sen sijaan on useitakin tutkimuksia. Ohituksen perustilanne ja ohitusnäkemän määrittely on näin ollen perustettava ulkomaisiin tutkimuksiin.

Ohitustapahtuma osavaiheineen voidaan olettaa seuraavaksi (kuva 2).

0 Ennen kuin saavutaan tiesalle, jolla ohitukseen voidaan ryhtyä, ohittaja kärkkyy ohitettavan takana tietyn välimatkan päässä ja ajonopeudet ovat samat. Välimatkan ohittaja pitää mahdollisimman lyhyenä supistaakseen ohitusmatkaansa.

1 Kun saavuttu tiesalle, jossa ohitus on mahdollinen, ohittajalta kuluu tietty aika tilanteen arvioimiseen ja päätöksen tekoon. Ajonopeudet ovat edelleen samat.

2

Tehtyään ohituspäätöksen ohittaja kiihdyttää ajoneuvoaan ohitettavan takana ja aloittaa siirtymisen vastaantulevan liikenteen kaistalle tietyn matkan päässä ohitettavasta.

Tällöin ohittaja havaitsee vastaantulevan ajoneuvon. Ohitus viedään loppuun tilanteen määrittämällä tavalla tai keskeytetään, mitä varten tiesosalla on aina valittava riittävä näkemä tai ohituskielto.

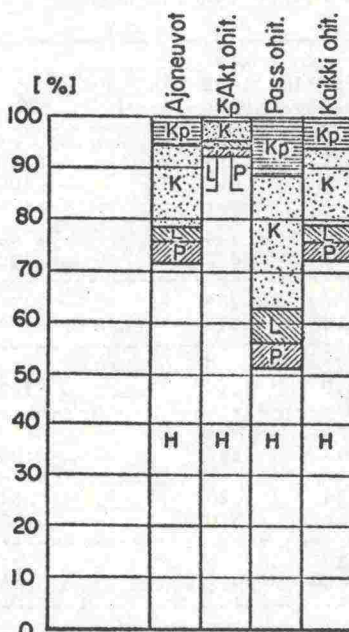
3

Ohitus päättyy ohittajan siirtyessä takaisin omalle kaistalleen tietyn matkan päässä ohitettavasta ja vastaantulevasta.

2. Ohituksen osapuolet

Tarkasteltaessa eri maiden ohitusnäkemä koskevia ohjeita havaitaan, että lähtökohdaksi on yleisesti valittu tilanne, jossa henkilöauto ohittaa henkilöauton. Vastaantuleva ajoneuvo oletetaan myös henkilöautoksi.

Suomessa prof. Wahlgrenin johdolla suoritetun tutkimuksen mukaan osallistuvat eri ajoneuvolajit traktoreita lukuun ottamatta ohituksiin likimäärin liikenneosuksiensa suhteessa. Ohitukseen osallistumisella tarkoitetaan tällöin sekä ohittajana olemista että ohitetuksi tuleamista (kuva 1).



Kuva 1

Ohitusten ja kautumat verrattuna ajoneuvojen jakautumaan (Lähde: Syyrakki, Jonot ja ohitukset tieliikenteessä)

Kuvasta 1 voidaan todeta, että 100:sta ohittajasta noin 92 oli henkilöautoja ja että 100:sta ohitetusta noin 52 oli henkilöautoja ja noin 26 kuorma-autoja.

Taulukko 1

Ohitetut ohittajan funktiona

(Lähde: Syyrakki, Jonot ja ohitukset tieliikenteessä)

Akt.	Pass.	H	P	L	K	KPV	Σ
H	kpl %	1431 53.3	140 5.2	150 5.6	680 25.3	284 10.6	2685 ~ 100
P	kpl %	19 38.8	4 8.2	4 8.1	18 36.7	4 8.2	49 ~ 100
L	kpl %	19 45.2	0	3 7.1	15 35.7	5 11.9	42 ~ 100
K	kpl %	41 36.6	4 3.6	6 5.4	40 35.7	21 18.7	112 ~ 100
KPV	kpl %	9 33.3	0	1 3.7	9 33.3	8 29.6	27 ~ 100
Σ	kpl	1519	148	164	762	322	2915

Kuten edellä on todettu ja taulukosta 1 on pääteltävissä, on henkilöauto yleisin ohittaja (~92/100). Sen ohittamista ajoneuvoista noin puolet on henkilöautoja ja noin neljännes kuorma-autoja. Toiseksi yleisin ohittaja on kuorma-auto (~4/100), jonka ohittamista ajoneuvoista noin 37 % on henkilöautoja ja noin 36 % kuorma-autoja.

Taulukosta 1, johon on koottu n. 8500 ohitushavaintoa, ei voitane valita mitoitettavaa ohitustapahtumaa. Yhdistämällä pituudeltaan ja ajonopeudeltaan likimain toisiaan vastaavat ajoneuvolajit muodostuu taulukko 1 seuraavanlaiseksi.

Taulukko 2

Ohitetut ohittajan funktiona ajoneuvokohtaisen pituuden ja ajonopeuden mukaan ryhmiteltyinä

Akt.	Pass.	H + P 1=4-6m V≥90km/h	L + K 1=9-11m V≥70km/h	KPV 1=15-18m V=50-70km/h	Σ
H	kpl 92/100 %	1571 58.5	830 30.9	284 10.6	2685 ~ 100
P	kpl 2/100 %	23 46.9	22 44.9	4 8.2	49 ~ 100
H + P	kpl 94/100 %	1594 58.3	852 31.2	288 10.5	2734 ~ 100
L	kpl 1/100 %	19 45.3	18 42.9	5 11.8	42 ~ 100
K	kpl 4/100 %	45 40.2	46 41.1	21 18.7	112 ~ 100
L + K	kpl 5/100 %	64 41.6	64 41.6	26 16.9	154 ~ 100
KPV	kpl 1/100 %	9 33.3	10 37.0	8 29.8	27 ~ 100
Σ	kpl	1667	926	322	2915

Edellä esitetyn perusteella on ohitusnäkemän pohjaksi valittava tilanne, jossa henkilöauto ohittaa henkilöauton vastaantulevan ollessa myös henkilöauto. Ohjenopeuksien ollessa ≥ 80 km/h on kuitenkin suoritettava tarkistusta siten, että ohittajana on joko henkilöauto tai kuorma-auto ja ohitettavana perävaunullinen kuorma-auto. Vastaantulevaksi ajoneuvoksi oletetaan aina henkilöauto, mutta vaihto-

ehtoisia näkemiä verrattaessa otetaan huomioon silmäpisteiden erilainen korkeus.

3. Ohituksessa käytettävät nopeudet

Maassamme ei ole selvitetty ohituksissa käytettäviä nopeuksia. Sen sijaan on hyvinkin laajasti tutkittu teillämme käytettyjen ajonopeuksien riippuvuutta eri tekijöistä.

Ohitusnäkemän määrittämisen kannalta on oleellista tuntea ohitettavan ja vastaantulevan ajoneuvon käyttämät nopeudet. Ohittavan ajoneuvon nopeus määrittyy yleensä ohitustilanteen mukaan.

Ohitettavan ajoneuvon nopeutena pidetään yleisesti keskimääräistä ajonopeutta.

Taulukko 3

Ohitettavan nopeus ja keskimääräinen ajonopeus eri maiden suunnitteluohjeissa

Ohjenop. km/h	Ohitettavan nopeus km/h				
	USA	RUOTSI	NORJA	L-SAKSA	SVEITSI
60	51	45	44	52	58
80	65	65	54	64	70
100	78	85	62	73	80
120	90	105	71	80	90
	1)	2)	3)	4)	5)

- 1) Tien keskimääräinen ajonopeus, kun tiellä on keskinkertainen liikenne (average running speed, intermediate traffic)
- 2) 15 km/h ohjenopeutta alempi
- 3) 15 % liikennenopeutta alempi, vastaavat liikennenopeudet 52, 64, 73 ja 84 km/h
- 4) Perustuu amerikkalaisiin tutkimuksiin
- 5) Keskimääräinen ajonopeus liikennemäärän ollessa pieni

Prof. Wahlgrenin tutkimusten mukaan ajoneuvojen keskiajonopeus riippuu tieosan yleisstandardin mukaisesta ohjenopeudesta seuraavasti (liikenne ≤ 200 ajon/h)

$$\bar{v}_2 = 14,2 + 7,08 \sqrt{v_{01}}$$

Jossa \bar{v}_2 = kaikkien ajoneuvojen keskiajonopeus

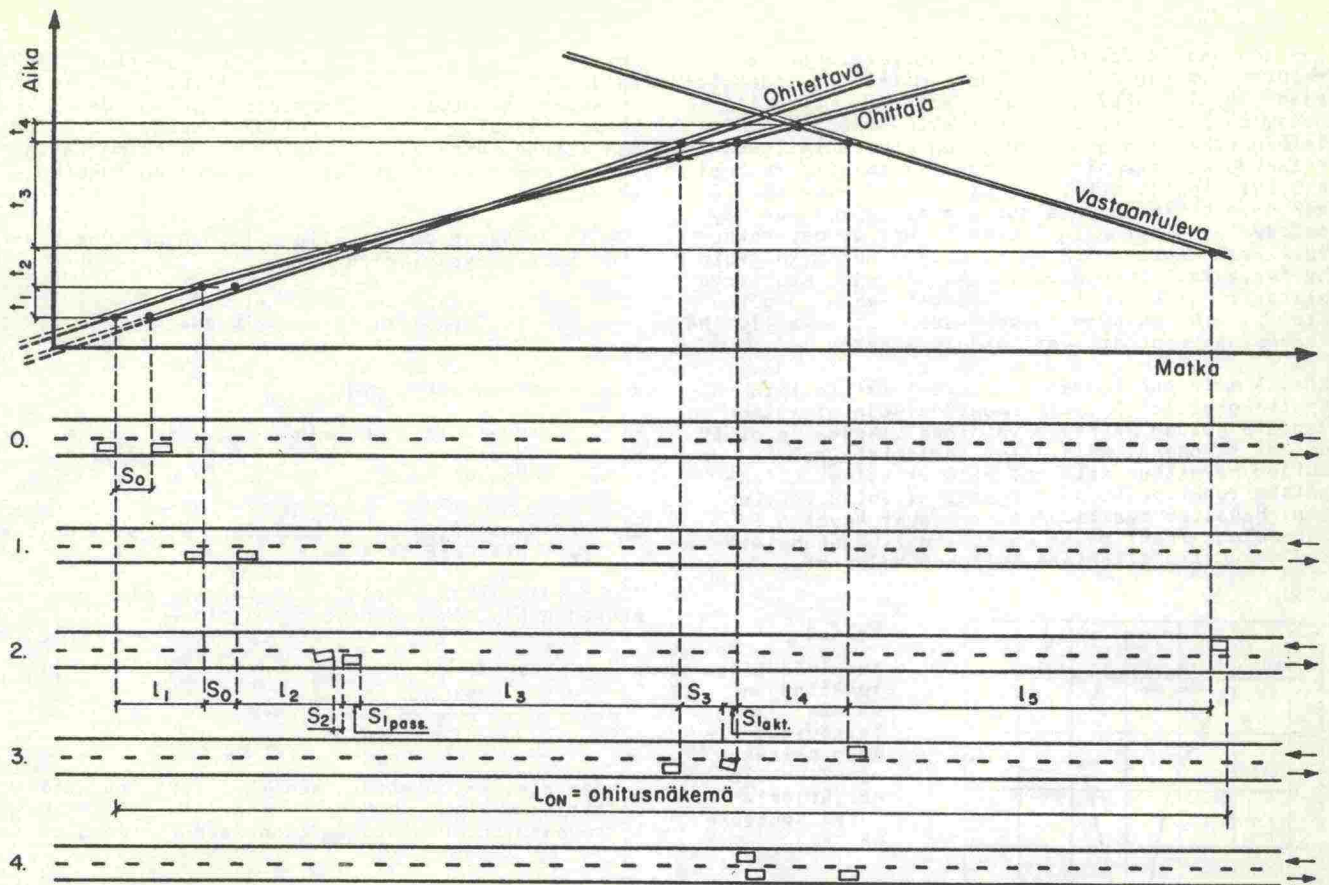
v_{01} = tieosan yleisstandardin mukainen ohjenopeus

Verrattaessa näin saatavia keskiajonopeusarvoja USA:n, Länsi-Saksan ja Sveitsin normien vastaaviin arvoihin havaitaan selvä ero alempien ohjenopeuksien kohdalla.

Taulukko 4

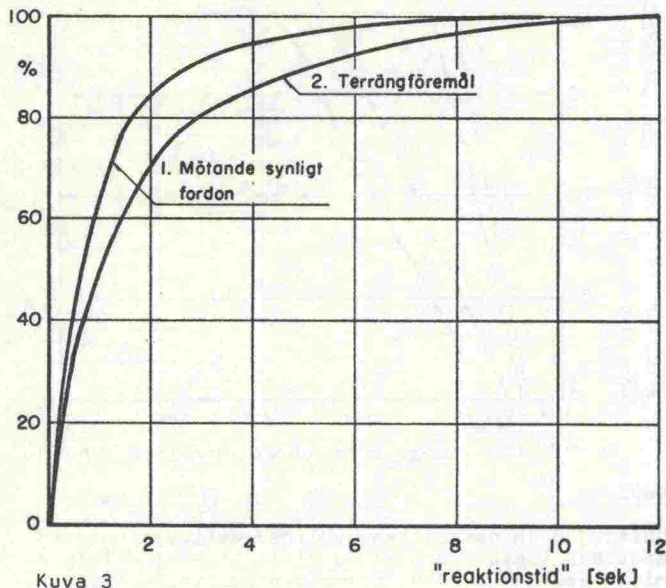
Suomessa havaittujen ajonopeuksien vertailu eräiden maiden vastaaviin ohjearvoihin

Ohjenopeus				
Keski- ajonopeus km/h	60	80	100	120
$\bar{v}_2 = 14,2 + 7,08 \sqrt{v_{01}}$				
v_{01}	69	78	85	92
USA	51	65	78	90
LÄNSI-SAKSA	52	64	73	80
SVEITSI	58	70	80	90



Kuva 2

Ohitusnäkemän osamatkat



Kuva 3

Ohituspäättöksen tekoon käytetyn ajan ("reaktio-ajan") kumulatiivinen jakautuma (Statens Väg-institut, Ruotsi 1968)

Edellä mainitusta erosta johtuen lasketaan jäljempänä ohitusnäkemän ohjearvot ohitettavan ajoneuvon nopeudesta riippuvina.

Vastaantulevan ajoneuvon voitaneen olettaa ajavan nk. 85 % nopeutta. Tätä tarkastellaan muistion lopussa lähemmin.

4. Ohitusnäkemän osamatkat

Kuvassa 2 määritetään erikseen kukin ohitusnäkemän osamatka ohitettavan ajoneuvon nopeudesta riippuvana.

Ohitusnäkemä (L_{ON}) muodostuu seuraavista osamatkoista

$$L_{ON} = l_1 + l_2 + s_0 + s_2 + s_{1\text{ pass}} + l_3 + s_3 + s_{1\text{ akt}} + l_4 + l_5 \quad (1)$$

l_1 = matka, joka kuljetaan ohituspäättöstä tehtäessä, eräänlaisen reaktioajan t_1 aikana ohitettavan ajoneuvon nopeudella v_{pass}

$$l_1 = t_1 \cdot v_{\text{pass}} \quad (2)$$

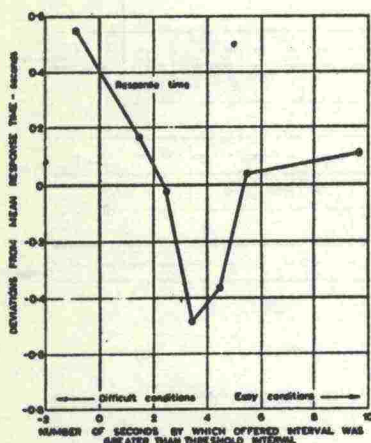
Päätöksentekoon kuluva aika (t_1) riippuu suuresti sekä kuljettajasta että tilanteesta ja on vaikeasti määritettävissä.

Ruotsalaisten tutkimusten mukaan (Statens väg-institut = SVI) päätökseen tarvittava aika riippuu siitä, onko vastaantuleva ajoneuvo näkyvissä vai muodostaako tienkaarre, mäenharjanne tms. maastokohta näkemäesteen. Edelleen todettiin, että kuljettajat yleensä odottavat kunnes vapaa näkemä on hyvin määritettävissä. Kuvasta 3, johon on koottu mainitun tutkimuksen tulokset, voidaan todeta, että

a)	vastaantulijan ollessa näkyvissä				
-	50 % kuljettajista	päättää alle 0,7 sek:n ajassa			
-	80 %	"	"	"	1,6 "
-	85 %	"	"	"	2,0 "
-	90 %	"	"	"	2,7 "
-	95 %	"	"	"	4,0 "
b)	maastokohteen ollessa näkemäesteenä				
-	50 % kuljettajista	päättää alle 1,0 sek:n ajassa			
-	80 %	"	"	"	3,0 "
-	85 %	"	"	"	3,8 "
-	90 %	"	"	"	5,0 "
-	95 %	"	"	"	7,2 "

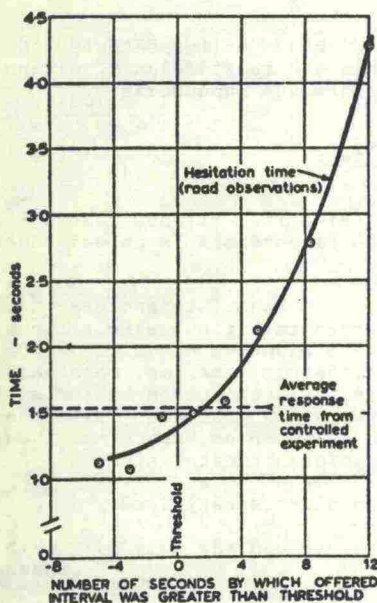
Englannissa (A Crawford 1963) suoritetussa laboratoriomaisessa ohituskokeessa mitattiin "reaktio-ajan" keskiarvoksi 1,5 sek. Kokeessa todettiin myös, että sekä kriittisissä että helpoissa tilanteissa reaktioaika kasvaa ja on ensin mainitussa tilanteessa pitempi (~ 2 sekä) kuin viimeksi mainitussa (~ 1,6 sek). Lyhyin reaktioaika n. 1,0 sek havaittiin tilanteessa, jossa ohitukseen käytettävä aika oli noin 3 sek pitempi arvoa, joka tuli keskimäärin yhtä monta kertaa hylätyksi kuin hyväksytyksi (kynnysarvo). Reaktioajan keskiarvo alitettiin, kun ohitukseen käytettävä aika oli 2,5 ... 5,0 sek kynnysarvoa suurempi (kuva 4). Näkemäesteen muodosti vastaantuleva auto.

Edellä mainitun kokeen tuloksia tarkistettiin kenttäkokeilla. Ajajien reaktioaikoja ei voitu verrata heidän "kynnysarvoihinsa", koska ne eivät olleet tiedossa. Näin ollen järjestetyissä kokeissa havaittua seikkaa, että vaikeissa tilanteissa reaktioaika on pitempi, ei voitu vahvistaa. Havaitut reaktioajat ilmenevät kuvasta 5. Sen mukaan reaktioaika vaihtelee 1,0 sekunnista 2,0 sekuntiin tilanteen tullessa helpoksi.



Kuva 4

Keskimääräisen reaktioajan vaihtelu käytettävissä olleen ohitusajan funktiona järjestetyssä kohteessa



Kuva 5

Reaktioajat eri ohitusajoille kenttäkokeissa

Erinäisissä tutkimuksissa on todettu, että kuljettajan kyky arvioida ohitukseen liittyviä seikkoja heikkenee ajonopeuksien kasvaessa ja päätöksen tekoon käytetty aika näin ollen kasvaa. Tämä johtaa siihen, että käytettävissä olevasta matkasta jää vähemmän varsinaiseen ohitukseen nopeuksien kasvaessa.

Edellä esitetyn perusteella valitaan päätöksentekoon tarvittavaksi ajaksi

- 1,0 sek, kun $V_{pass} = 60$ km/h
- 1,5 sek, " $V_{pass} = 80$ "
- 2,0 sek, " $V_{pass} = 100$ "

Vastaavat osamatkat ovat

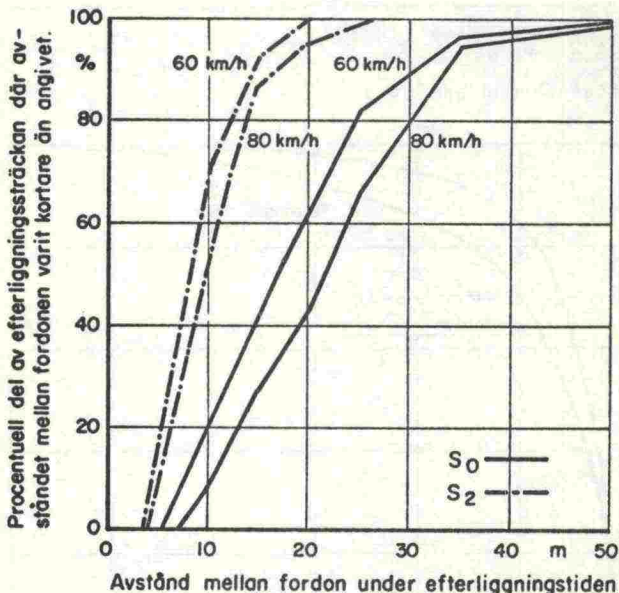
- $V_{pass} = 60$ km/h $l_1 = 16,7$ m
- $V_{pass} = 80$ " $l_1 = 33,3$ "
- $V_{pass} = 100$ " $l_1 = 55,5$ "

S_0 = ohittajan ja ohitettavan välimatka ohituspäätöstä tehtäessä

Tämän välimatkan on yleisesti todettu olevan ajoneuvojen käyttämän nopeuden funktio

$$S_0 = f(v_{pass}) \quad (3)$$

Ruotsalaisissa tutkimuksissa (SVI 1968) todettiin ohittajan ajavan 1 sekunnin aikavälin päässä ohitettavasta ohituspäätöstä tehdessään. (Kuva 6)



Kuva 6

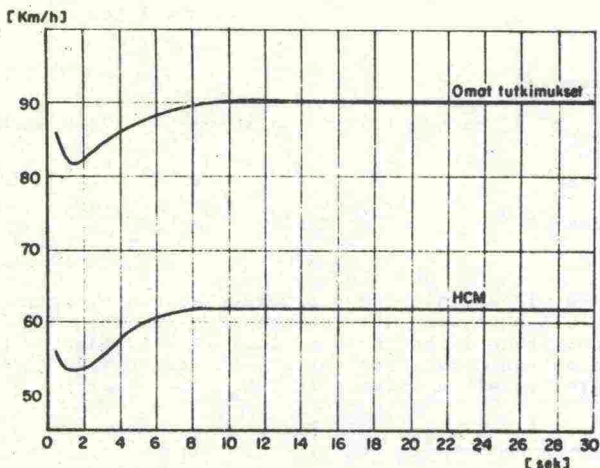
Ohittajan ja ohitettavan välinen etäisyys ohituspäätöstä tehtäessä (S_0) ja aloitettaessa siirtyminen vastaantulevan liikenteen kaistalle (S_2).

Kuvasta 6 voidaan todeta, että kun

- $V_{pass} = 60$ km ohittajista ajaa
 - 50 % 17 m $\Delta t = 1,0$ sek läh. ohitettavaa
 - 85 % 27 m $\Delta t = 1,6$ sek " "
- $V_{pass} = 80$ km ohittajista ajaa
 - 50 % 22 m $\Delta t = 1,0$ sek läh. ohitettavaa
 - 85 % 32 m $\Delta t = 1,4$ sek " "

Länsi-Saksassa suoritetun tutkimuksen (C Zuberbühler - 1965) pohjalta lasketuissa ohitusnäkemäarvoissa on ohituksen valmisteluun eli alkukiihdytykseen oletettu kuluvan aikaa 3 sekuntia. Verrattaessa tätä lukua USA:n ohjeissa annettuihin arvoihin (3,6 ... 4,5 sek), joihin myös reaktioajan mainitaan sisältyvän, voidaan todeta, että reaktioaika näin arvioiden on 0,5 ... 1,5 sekunnin suuruusluokkaa.

Suomessa suoritettujen aikavälitutkimusten (kuva 7) perusteella on pääteltävissä, että aikaväli ohitus-päätöstä tehtäessä olisi noin 1,5 sek.



Kuva 7

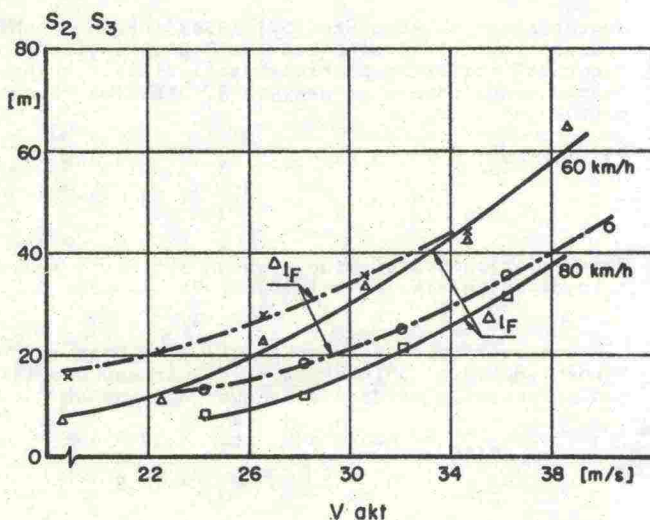
Henkilöautojen keskinopeusaikaväli - käyrän vertailu HCM:n vastaavaan (Lähde: Syyrakki, Jonot ja ohitukset tieliikenteessä)

Ohittajan ja ohitettavan aikaväliksi ohituspäätöstä tehtäessä valitaan 1,5 sek. Vastaavat osamatkat ovat

-	V _{pass} = 60 km/h	S ₀ = 25,0 m
-	V _{pass} = 80 "	S ₀ = 33,3 "
-	V _{pass} = 100 "	S ₀ = 41,7 "

S_2 = ohittajan ja ohitettavan välimatka hetkellä jolloin ohittaja on siirtymässä vastaan tulevan liikenteen kaistalle mutta ei vielä ole ylittänyt keskiviivaa

Ruotsalaisessa tutkimuksessa (SVI 1968) todettiin tämän välimatkan riippuvan sekä ohitettavan nopeudesta että ohittajan ja ohitettavan välisestä nopeudesta. (Kuva 6 ja 8). Ohitettavan ajoneuvon nopeus vaikuttaa kuitenkin melko vähän tähän välimatkaan.

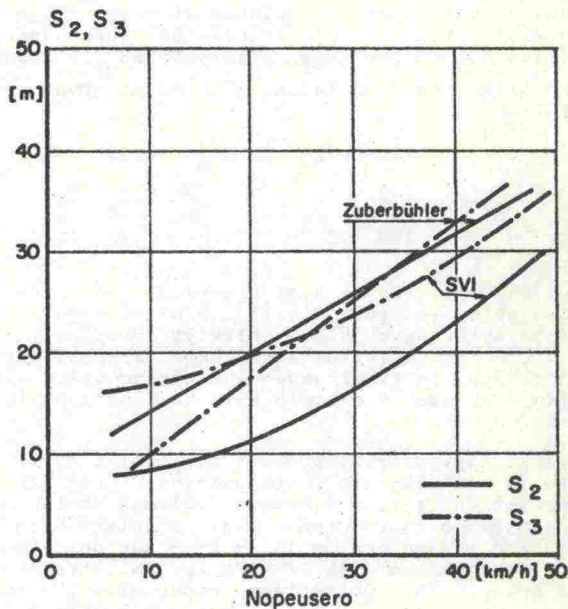


Kuva 8

Ohittajan ja ohitettavan välimatka ohittajan siirtymässä vastaan tulevan liikenteen kaistalle S_2 ja ohittajan palatessa omalle kaistalleen (S_3) ohittajan abs. nopeudesta riippuvina.

SVI:n tutkimus on tehty vasemmanpuoleisen liikenteen aikana ja tutkimusselostuksessa todetaankin, että

- siirtyminen vastaan tulevan liikenteen kaistalle tapahtuu lähempänä ohitettavaa vasemmanpuoleisessa liikenteessä
- siirtyminen takaisin omalle kaistalle tapahtuu kauempana ohitettavasta vasemmanpuoleisessa liikenteessä aina 25 km/h nopeusarvoon asti, minkä jälkeen oikeanpuoleisen liikenteen arvot ovat suurempia



Kuva 9

Ohittajan ja ohitettavan välimatka ohittajan siirtymässä vastaan tulevan liikenteen kaistalle (S_2) ja ohittajan palatessa omalle kaistalle (S_3) ajoneuvojen nopeuserosta riippuvana.

USA:ssa suoritettussa kokeessa (T.M. Matson - T.W. Farbes, Highway Research Road No 18 (I)) todettiin S_2 :n keskimääräiseksi arvoksi 15 m.

Länsi-Saksassa suoritettujen tutkimusten (Grabe - Stolz, Strasse und Autobahn 4/1968) mukaan on nopeuksien vaikutus niin vähäinen, että laskelmissa voidaan käyttää keskimääräistä lukuarvoa $s = 8$ m.

Toisen saksalaisen tutkimuksen (C. Zuberbühler 1965) mukaan (kuva 9)

- henkilöauton ohittaessa henkilöautoa

$$S_2 = 0,56 \cdot \Delta V + 9 \quad (r = 0,66) \quad (4)$$
- henkilöauton ohittaessa kuorma-autoa

$$S_2 = 0,74 \cdot \Delta V + 11,9 \quad (r = 0,66) \quad (4a)$$

$$\Delta V = \text{nopeusero km/h}$$

Ohitusnäkemän perusteeksi valitaan kaavat 4 ja 4a, koska ne lienevät sopivimmat käytössä olevat ja johtavat jonkin verran varmempiin ohitusnäkemäarvoihin kuin muut selostetut.

- l_2 = matka, jonka ohitettava ajoneuvo kulkee aikana (t_2), joka alkaa ohittajan päätettyä ohituksesta ja loppuu tämän aloittaessa siirtymisen vastaan tulevan liikenteen kaistalle
- $l_2 = t_2 \cdot v_{\text{pass}}$ ja $l_2 - S_2 + S_0 = t_2 \cdot v_{\text{pass}} + \frac{a \cdot t_2^2}{2}$

jossa a on ohittavan ajoneuvon kiihtyvyys

$$t_2 \cdot v_{\text{pass}} = t_2 \cdot v_{\text{pass}} + \frac{at_2^2}{2} - S_0 + S_2 \therefore \frac{at_2^2}{2} = S_0 - S_2$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2(S_0 - S_2)}{a}} \quad (5)$$

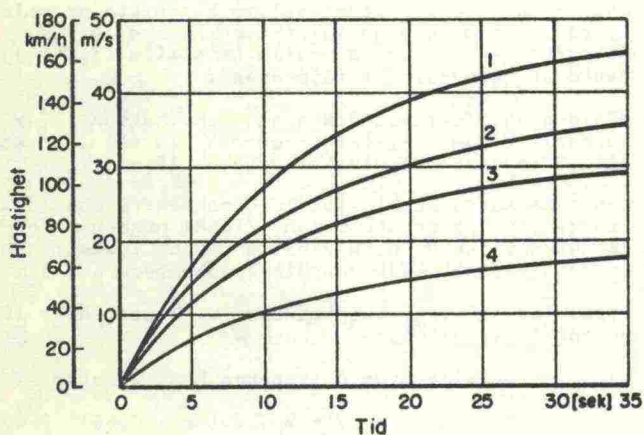
$$l_2 = v_{\text{pass}} - \sqrt{\frac{2(S_0 - S_2)}{a}} \quad (6)$$

Valittaessa ohittavan ajoneuvon kiihtyvyyssarvoja on oletettu, että ohittaja kiihdyttää ajoneuvoaan mahdollisimman paljon ennen siirtymistään vastaan-tulevan liikenteen kaistalle. Seuraavat arvot on valittu

-	v_{akt}	60 km/h	$a = 0,90 \text{ m/s}^2$
-	v_{akt}	80 "	$a = 0,80 "$
-	v_{akt}	100 "	$a = 0,70 "$

Valitut kiihtyvyyssarvot ovat suuremmat kuin USA:n ohjeissa esitetyt arvot $0,64 \dots 0,67 \text{ m/s}^2$ ja Ruotsin nykyisissä ohjeissa esitetyt arvot n. $0,8 \dots 0,4 \text{ m/s}^2$. Verrattaessa esim. saksalaiseen, Graben ja Stalzin tutkimukseen havaitaan valittujen lukuarvojen olevan pienempiä kuin käytännössä mitatut

Valitut kiihtyvyyssarvot sopivat myös melko hyvin kuvassa 10 esitettyihin lukuarvoihin. Kuvan 10 nopeusraajat on valittu likimain lyhimmän ohitusnäkemän tuottavan nopeuseron pohjalta, jotka SVI:n tutkimuksen mukaan ovat noin 23 km/h kun ohitettavan nopeus on 60 km/h ja 27 km/h kun ohitettavan nopeus on 80 km/h. Ohitettavan nopeudelle 100 km/h ei ole olemassa nopeuseroavaan sen on tässä oletettu olevan noin 30 km/h.



Ajoneuvoluokat	1	Urheiluautot ja suuritehoiset henkilöautot
	2	Keskisuuret henkilöautot (Volvo, Peugeot 404 jne)
	3	Pikkuautot (VW, Saab, BMC 850 jne)
	4	Kuorma-autot

Kuva 10

Ajoneuvoluokkien keskimääräiset kiihtyvyyssarvot eri nopeusalueilla

Edellä mainituilla kiihtyvyyssarvoilla saadaan seuraavat S_2 ja t_2 -arvot tapaukselle, jossa henkilö-auto ohittaa henkilöauton

v_{pass}	60 km/h	$S_2 = 16,8 \text{ m}$	$t_2 = 4,28 \text{ sek}$
v_{pass}	80 "	$S_2 = 18,8 "$	$t_2 = 6,04 "$
v_{pass}	100 "	$S_2 = 20,2 "$	$t_2 = 7,84 "$

Vastaavat l_2 -arvot ovat

v_{pass}	60 km/h	$l_2 = 71,4 \text{ m}$	$v_{\text{akt}} \sim 73,9 \text{ km/h}$
v_{pass}	80 "	$l_2 = 134,0 "$	$v_{\text{akt}} \sim 97,4 "$
v_{pass}	100 "	$l_2 = 217,6 "$	$v_{\text{akt}} \sim 119,8 "$

$l_3 =$

matka, jonka ohitettava ajoneuvo kulkee aikana, jolloin ohittaja joko kokonaan tai osittain on vastaantulevan liikenteen kaistalla. Ohittajan kulmaa matkaa nimitetään ohitusmatkaksi (L_0) ja tähän käytettyä aikaa ohitusajaksi t_3 .

$$l_3 = t_3 \cdot v_{\text{pass}} \quad (7)$$

$$L_0 = S_2 + S_{1 \text{ pass}} + l_3 + S_3 + S_{1 \text{ akt}} \quad (8)$$

$S_{1 \text{ pass}} =$ ohitettavan ajoneuvon pituus

$S_{1 \text{ akt}} =$ ohitettavan ajoneuvon pituus

$S_3 =$ ohitettavan ja ohittajan välimatka hetkellä jolloin ohittaja palaa omalle ajo-kaistalleen

$$S_3 = f(v_{\text{akt}}, v_{\text{pass}}) \quad (9)$$

Ohitusaikaan (t_3) ja ohitusmatkaan (l_3) liittyviä tutkimuksia ei ole tehty Suomessa. Sen sijaan Ruotsissa, Saksassa ja USA:ssa on viime aikoina tehty lukuisia toisistaan riippumattomia tutkimuksia, joissa on selvitetty sekä ohitusaikaan että ohitusmatkaan liittyviä suureita.

Oheisessa ohitusnäkemän määrittelytavassa on lähdetty siitä, että ohitusaika tunnetaan ja ohitusmatka määritetään ohitettavan ajoneuvon nopeuden perusteella.

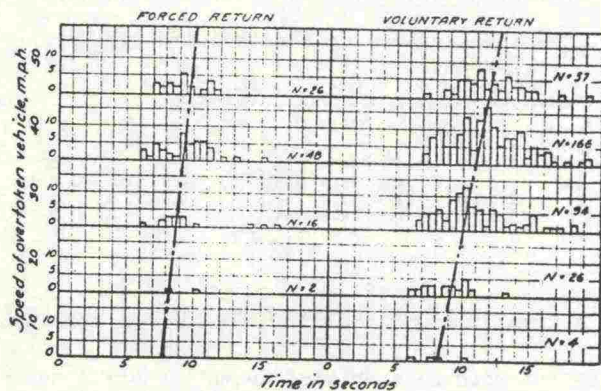
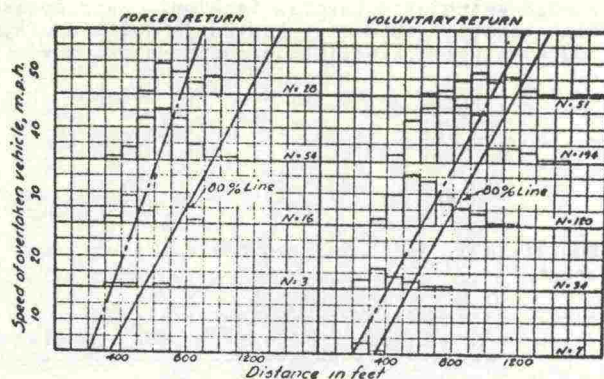
Ruotsalaisen tutkimuksen (SVI 1968) mukaan on ohitukseen käytettävä aika $1,5 \dots 2,0$ sekuntia "vapaata" ohituksen aikaa lyhyempi silloin kuin vastaantuleva ajoneuvo on näkyvissä. Keskimääräiset ohitusajat olivat

-	$v_{\text{pass}} = 60 \text{ km/h}$	$t_3 = 7,6 \text{ sek}$
-	$v_{\text{pass}} = 80 "$	$t_3 = 8,0 "$

Erot eri ajoneuvoluokkien, lukuun ottamatta kuorma-autoja, ohitusaikojen välillä eivät ole suuret.

USA:ssa suoritetun tutkimuksen (T.M. Matson - T.W. Farber) mukaiset ohitusajat selviävät kuvasta 11. Sen perusteella saadaan seuraavat ohitusajat

-	$v_{\text{pass}} = 60 \text{ km/h}$	$t_3 = 10,5 \text{ sek}$
-	$v_{\text{pass}} = 80 "$	$t_3 = 12,5 "$



Kuva 11

Ohitusmatkat (ylempi) ja ohitusajat (alempi) ohitettavan ajoneuvon nopeudesta riippuvina (Lähde: Matson - Farbes, Highway Research Board NO 18 (I))

Crawfordin (Englanti) suorittamassa tutkimuksessa todetaan, että ohitettavan ajaessa n. 50 km/h on

- ohitus aika pienellä autolla keskim. 7,7 sek
- " suurella " " 6,8 "
- " raskaalla ajoneuv. " 11,0 "

(Koehenkilöt, lentokenttä)

Kontrolloidussa kokeessa saatiin seuraavat luku- arvot

- v_{pass} 60 km/h $t_3 \sim 7,3$ sek
- v_{pass} 80 " $t_3 \sim 8,3$ "
- v_{pass} 100 " $t_3 \sim 9,3$ "

Saksalainen Zuberbühler on saanut seuraavat ohitus- ajat tutkiessaan henkilöautojen välistä ohitusta

- v_{pass} 35 km/h ohitus aika 7,3 sek
- v_{pass} 55 " " 7,4 "
- v_{pass} 75 " " 7,0 " X

X vain 30 havaintoa

Graben - Stalzin henkilöautojen välistä ohitusta koskevassa tutkimuksessa (L-Saksa) saatiin kes-

kimääräiseksi ohitusajaksi 7,2 sek, ja todetaan, että ohitettavan nopeuden ja ohitusajan välistä riippuvuussuhdetta ei voitu tilastollisella varmuudella selvittää.

Tutkimuksessa todetaan edelleen, että henkilöauto- jen keskinäisissä ohituksissa on ohitusaika

- 95 %:lla alle 10,0 sek
- 90 " " 9,5 "
- 85 " " 9,0 "
- 80 " " 8,6 "

Ohitusmatkalle s_u annetaan yhtälö

$$s_u [m] = 43 + 1,77 v_m [km/h]$$

ja todetaan, että 95 %:lla henkilöautoista ohitus- matka on alle

$$s_u [m] = 109 + 1,77 \cdot v_m [km/h]$$

USA:n ohjeissa käytetään seuraavia ohitusaikoja

- v_{pass} km/h t_3 10,0 sek
- v_{pass} " t_3 10,7 "
- v_{pass} " t_3 11,3 "

Edellä esitetyn on ohitusajan lukuarvoiksi valittu

- v_{pass} 60 km/h $t_3 = 7,5$ sek
- v_{pass} 80 " $t_3 = 8,5$ "
- v_{pass} 100 " $t_3 = 9,5$ "

Ohittavan ja ohitettavan ajoneuvon pituudeksi valitaan 5,0 m.

Ohitettavan ja ohittajan välimatkan (s_3) hetkellä, jolloin ohittaja ei enää miltyään osin ole vastaan- tulevan liikenteen kaistalla, on todettu riippuvan ohittajan ja ohitettavan välisestä nopeuserosta.

SVI:n tutkimuksen tulokset on esitetty kuvissa 8 ja 9. Kuten on aikaisemmin todettu, tutkimus koskee vasem- manpuoleista liikennettä ja muodostaa näin ollen tise- tyn vertailuperusteen muille tutkimuksille.

USA:ssa suoritettussa kokeessa (Matson - Farbes) todet- tiin s_3 :n keskimääräiseksi arvoksi 25 m.

Saksalaisen Zuberbühler'in mukaan

a) henkilöauton ohittaessa henkilöautoa

$$s_3 = 0,77 \cdot \Delta V + 2,0 \quad (r = 0,71) \quad (10)$$

b) henkilöauton ohittaessa kuorma-autoa

$$s_3 = 0,52 \cdot \Delta V + 13,0 \quad (r = 0,46) \quad (10a)$$

Ohitusnäkemän perusteeksi valitaan kaavat 10 ja 10a, jolloin s_3 :lle saadaan seuraavat lukuarvot

- v_{pass} 60 km/h $s_3 = 19,7$ m
- v_{pass} 80 " $s_3 = 22,8$ m
- v_{pass} 100 " $s_3 = 25,1$ m

Ohitusmatkan (L_0) lukuarvot muodostuvat edellä esitettyjen perusteiden mukaisesti seuraaviksi (kaava 11)

$$\frac{V_{pass}}{L_0} = 16,8 + 5,0 + 7,5 \times \frac{60}{3,6} + 19,7 + 5,0 = 171,6 \text{ m}$$

$$\frac{V_{pass}}{L_0} = 16,8 + 5,0 + 8,5 \times \frac{80}{3,6} + 22,8 + 5,0 = 240,5 \text{ m}$$

$$\frac{V_{pass}}{L_0} = 20,2 + 5,0 + 9,5 \times \frac{100}{3,6} + 25,1 + 5,0 = 305,5 \text{ m}$$

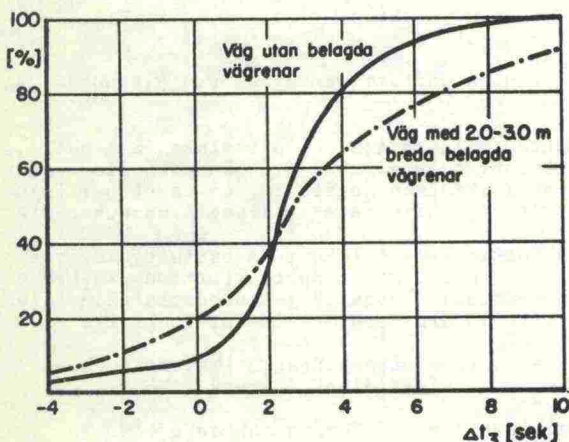
l_4 = ohittajan ja vastaantulevan ajoneuvon välimatka ohittajan palatessa omalle ajokaistalleen. Vastaavaa aikaväliä merkitään t_4 ja vastaantulevan ajoneuvon nopeutta v_3

$$l_4 = t_4 \cdot v_3 \quad (12)$$

Ruotsalaisen tutkimuksen (SVI 1968) mukaan (kuva 12) noin 50 %:ssa ohituksista $t_4 \approx 2,5$ sek tien pientareiden leveydestä ja päällysteestä riippumatta.

Zuberbühler suosittelee käytettäväksi arvoa $t_4 = 2,0$ sek

Crawfordin tutkimuksen mukaan vaihtelee t_4 1,5...3,0 sekuntiin hyväksytyn aikavälin vastaavasti ollessa 0 ... 4 sekuntia kynnyksarvoa suurempi.



Kuva 12

Ohittajan ja vastaantulevan ajoneuvon aikavälin t_4 jakautuma kun viimeainittu on ollut näkyvissä.

USA:n ohjeista on laskettavissa, että aikaväli t_4 vaihtelee 2,0 ... 3,5 sekuntiin.

Edellä esitetyn pohjalta valitaan aikaväliksi t_4 3,0 sekuntia.

l_5 = vastaantulevan ajoneuvon kulkema matka ohitusaikana t_3 kulkema matka l_5

$$l_5 = t_3 \cdot v_3 \quad (13)$$

Ei liene oikein olettaa, että vastaantuleva ajoneuvo ajaisi samaa nopeutta kuin ohittaja ohitus tapahtu-

massa, koska ohittajan nopeudet muodostuvat korkeiksi edellä esitetyllä tavalla laskien. Seuraavassa onkin oletettu, että ohitettavan ja vastaantulevan nopeuksien välillä vallitsee seuraava riippuvuus.

-	v_{pass}	60 km/h	v_3	75 km/h
-	v_{pass}	80 "	v_3	90 "
-	v_{pass}	100 "	v_3	105 "

Suureille l_4 ja l_5 saadaan tällöin seuraavat arvot

V_{pass} km/h	t_4 sek	l_4 m	t_3 sek	l_5 m
60	3,0	50,0	7,5	156,5
80	3,0	66,7	8,5	212,4
100	3,0	83,3	9,5	277,0

L_{ON} = ohitusnäkemä on edellä esitetyin perustein seuraava

V_{pass} km/h	l_1 m	l_2 m	S_0 m	S_2 m	l_3 m	S_{lp} m	S_{la} m	S_3 m	l_4 m	l_5 m	L_{ON} m
60	16,7	71,4	25,0	16,8	125,0	5,0	5,0	19,7	50,0	156,5	~ 490
80	33,3	134,0	33,3	18,8	188,9	5,0	5,0	22,8	66,7	212,4	~ 720
100	55,5	217,6	41,7	20,2	264,1	5,0	5,0	25,1	83,3	277,0	~ 995

5. Supistettu ohitusnäkemä ja mahdollinen ohituskielto

Ohitus voidaan suorittaa huomattavasti lyhyemmänkin näkemän puitteissa, kuin mitä edellä esitetyt normaalin ohitusnäkemän arvot ovat (Kuva 13). Näin ollen ei liene oikein arvostella tietä eikä myöskään suunnitella sitä yksinomaan normaalin ohitusnäkemän avulla. Edelleen voidaan todeta, että olisi myös pystyttävä määrittämään eräänlainen rajanäkemä, jota pienemmillä vapaan näkemän arvoilla ohitus kiellettäisiin. Nykyinen VTO tuntee vain normaalin ohitusnäkemän ja ohituskielletään sulkuviivoin tai liikennemerkein vapaan näkemän ollessa kohtaamisnäkemää pienempi. Lisäksi suunnittelu on sidottu tien ohjenopeuteen, minkä ei enää katsota yksin riittävän suunnitteluperusteeksi.

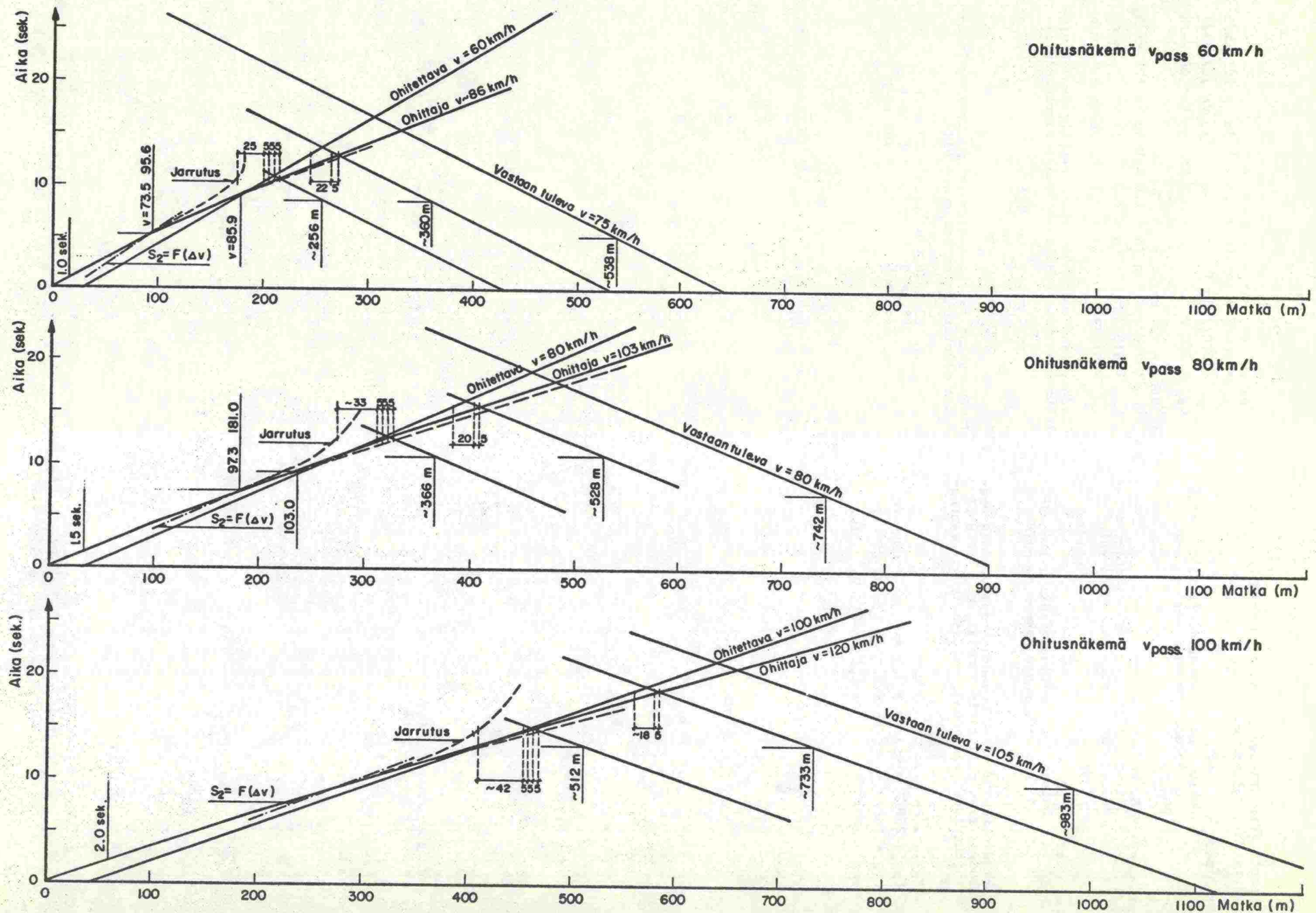
Tutkittaessa, mikä olisi sopiva, normaalia ohitusnäkemää lyhyempi vapaan näkemän arvo, jonka vallitessa ohitus vielä voisi kohtuullisen turvallisesti tapahtua, on tehtävä eräitä uusia olettamuksia. Tämän ohitusnäkemän lajin, supistetun ohitusnäkemän, on seuraavassa oletettu poikkeavan normaalista ohitusnäkemästä siinä, että

- ohittaja havaitsee vastaantulevan ajoneuvon vasta silloin, kun on tämän ajokaistalla aivan ohitettavan takana.
- ohittaja kohtaa vastaantulevan välittömästi sen jälkeen kun hän on siirtynyt takaisin omalle kaistalleen.

Supistetun ohitusnäkemän L'_{ON} lukuarvot on määritetty graafisesti kuvassa 13 ja ne ovat seuraavat:

-	V_{pass}	60 km/h	L'_{ON}	360 m
-	V_{pass}	80 "	L'_{ON}	530 m
-	V_{pass}	100 "	L'_{ON}	735 m

Kuvassa 13 on pyritty myös etsimään ohjearvoa sellaiselle näkemälle, jossa ohitus vielä voidaan keskeyttää tai viedä loppuun määrätystä vai-



Kuva 13. Supistetun ohitusnäkemän määrittäminen graafisesti.

heesta. Tarkastelun perusteella voidaan todeta seuraavat "raja-arvot":

- a. $v_{pass} = 60 \text{ km/h}$
Ohitus voi onnistua mikäli ohitusnäkemää vastaava vapaa näkemä on noin 260 m.
- b. $v_{pass} = 80 \text{ km/h}$
Ohitus voi onnistua mikäli ohitusnäkemää vastaava vapaa näkemä on noin 370 m.
- c. $v_{pass} = 100 \text{ km/h}$
Ohitus voi onnistua mikäli ohitusnäkemää vastaava vapaa näkemä on noin 510 m.

Tarkasteltaessa minkä nopeuden edellyttämää vaaka-suoren tien pysähtymisnäkemää (L_{PN}) edellä mainitut luvut vastaavat, voidaan todeta seuraavaa:

- $v_{pass} = 60 \text{ km/h}$
 $L_{PN} = 260/2 \text{ m}$ kun $tp = 1,5 \text{ sek}$ ja $V_n 88 \text{ km/h}$
 $L_{PN} = 260/2 \text{ " "}$ $tp = 2,0 \text{ "}$ ja $V_n 84 \text{ km/h}$
 $L_{PN} = 260/2 \text{ " "}$ $tp = 2,5 \text{ "}$ ja $V_n 80 \text{ km/h}$

- $v_{pass} = 80 \text{ km/h}$
 $L_{PN} = 370/2 \text{ m}$ kun $tp = 1,5 \text{ sek}$ ja $V_n 107 \text{ km/h}$
 $L_{PN} = 370/2 \text{ " "}$ $tp = 2,0 \text{ "}$ ja $V_n 102 \text{ km/h}$
 $L_{PN} = 370/2 \text{ " "}$ $tp = 2,5 \text{ "}$ ja $V_n 98 \text{ km/h}$
- $v_{pass} = 100 \text{ km/h}$
 $L_{PN} = 510/2 \text{ m}$ kun $tp = 1,5 \text{ sek}$ ja $V_n 125 \text{ km/h}$
 $L_{PN} = 510/2 \text{ " "}$ $tp = 2,0 \text{ "}$ ja $V_n 121 \text{ km/h}$
 $L_{PN} = 510/2 \text{ " "}$ $tp = 2,5 \text{ "}$ ja $V_n 117 \text{ km/h}$

Pysähtymisnäkemän määrittävä reaktioaika on oletettavissa eri v_{pass} 'en kohdalla seuraavaksi:

- 60 km/h $tp 1,5 \text{ sek}$
- 80 km/h $tp 2,0 \text{ "}$
- 100 km/h $tp 2,5 \text{ "}$

Tämän mukaan tulisi kohtaamis- ja pysähtymisnäkemän määrittävän ohjenopeuden olla

- 85 km/h kun $v_{pass} = 60 \text{ km/h}$
- 95 km/h " " $= 80 \text{ km/h}$
- 115 km/h " " $= 100 \text{ km/h}$

A8. NOPEUDET KAARTEISSA

NOPEUDET PIENISÄTEISISSÄ KAARTEISSA v.1964

OLLI HINTIKKA

	sivu
0. JOHDANTO	1
1. KAARTEEN AJODYNAMIIKAN TEORIAA	1
1.1 Ajoneuvoon vaikuttavat voimat	1
1.2 Ajoneuvoon vaikuttavien voimien tasapaino	1
1.3 Ajomukavuus kaarteessa	2
2. PIENISÄTEISEN KAARTEEN AJODYNAMIIKkaa KOSKEVA TUTKIMUS	2
2.1 Aineiston kerääminen	2
2.2 Tutkimuksen tulokset	3
2.21 Havaintojen ryhmittely	3
2.22 Nopeuksien jakautumat	3
2.23 Eri tekijöiden vaikutus ajonopeuteen	8
2.3 Tulosten vertailua	10
2.4 Yhteenveto	13

NOPEUDEN RIIPPUVUUS KAARRESÄTEESTÄ v.1970 SUORITETTujen MITTAUSTEN MUKAAN

TEPPO MIIKKULAINEN

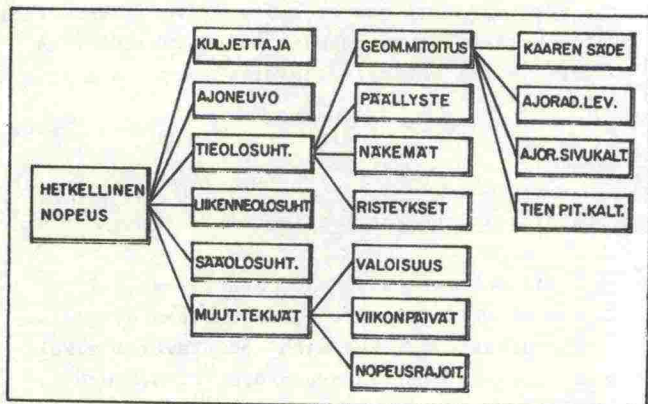
1. TUTKIMUSAINEISTO JA SEN KÄSITTELY	14
2. TUTKIMUKSEN TULOKSET	14

NOPEUDET PIENISÄTEISISSÄ KAAARTEISSA v.1964

OLLI HINTIKKA

0. JOHDANTO

Ajoneuvojen nopeuteen vaikuttaa eri tekijöitä, joita on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Hetkelliseen nopeuteen vaikuttavat tekijät.

Vuonna 1964 suoritettiin tvh:n toimesta tutkimus, jossa pyrittiin selvittämään ajoneuvojen nopeuksien riippuvuutta tie- ja sääolosuhteista tielinjan pienisäteisissä kaarteissa. Tätä tutkimusta on myöhemmin täydennetty eri vuosina suorituilla jatkotutkimuksilla. Jäljempänä on esitetty yhteenveto tutkimuksesta laadituista selvityksistä.

1. KAAARTEEN AJODYNAMIIKAN TEORIAA

1.1 Ajoneuvoon vaikuttavat voimat

Kaarteessa ajoneuvoon vaikuttavat tielinjan suuntaa vastaan kohtisuorassa tasossa yleensä seuraavat voimat:

(Kuva 2)

- keskipakoisvoima C
- maan vetovoima G
- normaalivoima N
- sivukitkavoima F

Keskipakoisvoima riippuu ajonopeudesta, ajoradan kaarresäteestä sekä ajoneuvon massasta. Sen suuruus voidaan määrätä kaavasta

$$C = m \frac{v^2}{R} \quad (1)$$

C = keskipakoisvoima (kg m/s^2)

v = ajoneuvon nopeus (m/s)

R = ajoradan kaarresäde (m)

Maan vetovoiman suuruus riippuu ajoneuvon massasta ja maan vetovoiman kiihtyvyydestä. Tämä voima voidaan laskea kaavasta

$$G = mg \quad (2)$$

G = maan vetovoima (kg m/s^2)

m = ajoneuvon massa (kg)

g = maan vetovoiman kiihtyvyys (m/s^2)

Normaalivoimalla tarkoitetaan voimaa, jolla tien pinta vaikuttaa ajoneuvoon. Sen suuruus riippuu maan vetovoimasta, keskipakoisvoimasta ja ajoradan sivukaltevuudesta. Normaalivoima voidaan laskea kaavasta

$$N = G \cos \alpha + C \sin \alpha \quad (3)$$

Sivukitkavoimalla tarkoitetaan ajoneuvon pyörien ja tien pinnan kosketuskohdassa ajoneuvoon vaikuttavaa tien pinnan suuntaista sivuttaista reaktivoimaa, jonka suuruus voidaan ilmaista kaavalla

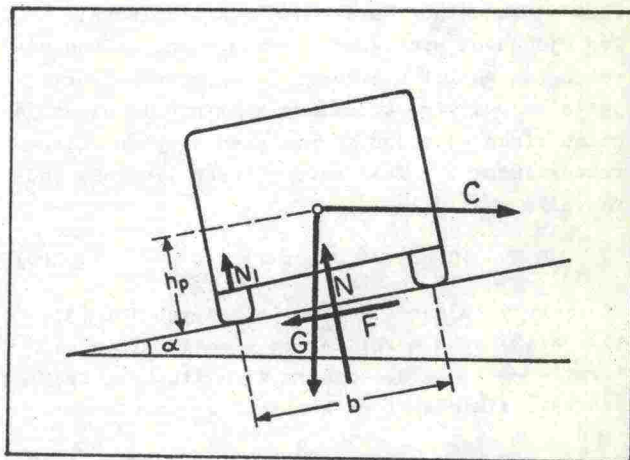
$$F = f N \quad (4)$$

F = sivukitkavoima (kg m/s^2)

f = sivukitkakerroin (-)

N = normaalivoima (kg m/s^2)

Koska sivukitkavoima on luonteeltaan reaktivoima, sen arvo riippuu muista ajoneuvoon vaikuttavista voimista. Se voi saavuttaa tietyn enimmäisarvon, jonka suuruus riippuu lähinnä kitkakerroimesta



Kuva 2. Ajoneuvoon vaikuttavat voimat kaarteissa

Edellä mainittujen voimien lisäksi saattaa ajoneuvon vaikuttaa ajoittain myös sivusuuntaisen tuulivoima, jonka suuruus vaihtelee suuresti riippuen tuulen voimakkuudesta ja suunnasta sekä ajoneuvon tuulipinnasta. Seuraavassa tarkastelussa tuulivoiman vaikutusta ei ole otettu huomioon.

1.2 Ajoneuvon vaikuttavien voimien tasapaino

Liikenneturvallisuuden kannalta on tärkeää, että ajoneuvon kaarteessa vaikuttavien voimien välillä vallitsee tasapaino. Mikäli tasapaino häiriintyy saattaa siitä seurata joko ajoneuvon kaatuminen tai suistuminen ajoradalta.

Ajoneuvon kaatumisen välttämiseksi tulee ajoneuvon vaikuttavien momenttivoimien olla tasapainossa. Tämä ehto voidaan esittää seuraavalla yhtälöllä (kuva 2):

$$\frac{b}{2} (C \sin \alpha + G \cos \alpha) - bN_1 - h_p (C \cos \alpha - G \sin \alpha) = 0 \quad (5)$$

missä b = ajoneuvon pyörien välinen etäisyys (m)

h_p = ajoneuvon painopisteen korkeus (m)

α = tien pinnan sivukaltevuuskulma ($^\circ$)

N_1 = sisäkaarteeseen puoleisiin pyöriin vaikuttava normaalivoima (kgm/s^2)

Jakamalla yhtälön (5) molemmat puolet $\cos \alpha$:lla ja merkitsemällä $\tan \alpha = q$ ja $N_1 = 0$, saadaan yhtälö, joka ilmoittaa tasapainoehdon rajatapauksessa

$$\frac{b}{2} (Cq + 6) - h_p (C - Gq) = 0 \quad (6)$$

q = ajoradan sivukaltevuus (-)

Yhtälöstä (6) nähdään, että ajoneuvon vakavuus riippuu suuresti ajoneuvon leveydestä, painopisteen korkeudesta ja painosta.

Ajoneuvon suistumisella tieltä tarkoitetaan tässä yhteydessä sivusuuntaisten voimien vaikutuksesta johtuvaa ajoneuvon liukumista sivuun ajoradalta. Suistumisen välttämiseksi tulee ajoneuvon pyörien ja tien pinnan välisen sivusuuntaisen kitkavoiman olla riittävän suuri, jotta se pystyisi kumoamaan keskipakoisvoiman ja painovoiman ajoradan suuntaisten komponenttien vektorisumman. Tämä ehto voidaan ilmaista seuraavalla yhtälöllä.

$$N f - (C \cos \alpha + G \sin \alpha) = 0 \quad (7)$$

Kun yhtälöön (7) sijoitetaan yhtälöt (3), (1) ja (2) sekä merkitään $\tan \alpha = q$ ja oletetaan termi $\frac{v^2}{gR} \approx 0$, saadaan sivukitkakertoimelle seuraava likimääräinen kaava:

$$f \approx \frac{v^2}{gR} + q = \frac{V^2}{127 R} + q \quad (8)$$

V = ajoneuvon nopeus (km/h)

Määrätyllä nopeudella ajettaessa ajoneuvon vaikuttava keskipakoisvoima tulee yhtä suureksi kuin maan vetovoiman ajoradan sivukaltevuudesta johtuva vaakasuora komponentti. Tätä nopeutta nimitetään tasapainonopeudeksi. Teoriassa ajoneuvo pysyy tällöin ajoradalla vaikka sivukitkan kertoimen arvo olisi nolla ($f=0$). Tasapainonopeus voidaan laskea kaavasta

$$v = \sqrt{g R q} \quad (9)$$

Ajoradan sivukaltevuus ei voi kaarteessa olla kovin suuri, koska tällöin hitaasti liikkuvat ja pysähtyvät ajoneuvot saattaisivat liukua talviolosuhteissa sivusuunnassa pois ajokaistaltaan. Tästä seuraa sivukaltevuudelle asetettava ehto

$$q < f_{\min} \quad (10)$$

1.3 Ajomukavuus kaarteessa

Ajomukavuus tielinjan kaarteessa riippuu lähinnä sivukiihtyvyyden ja sivukitkan arvoista.

Matkustaja kokee ajon epämukavaksi mikäli sivukiihtyvyys ylittää arvon $0.2 \dots 0.3 \text{ m/s}^2$.

Ajoneuvon ohjaamisen kannalta on suotavaa, ettei keskipakoisvoiman kumoamiseen tarvittava sivukitkan arvo olisi lähellä enimmäisarvoa.

Sivukiihtyvyys ja tarvittava sivukitkakertoimen arvo kasvavat ajoneuvon nopeuden kasvaessa verrannollisesti nopeuden neliöön. Ajomukavuus tielinjan kaarteessa riippuu siis oleellisesti ajoneuvon nopeudesta.

2. PIENISÄTEISEN KAASTEEN AJODYNAMIIKKAA KOSKEVA TUTKIMUS

2.1 Aineiston kerääminen

Tutkimuksen aineiston kerääminen tapahtui mittaamalla ajoneuvojen hetkellisiä nopeuksia Traff-o-Matic Radar Speed Meter S-5 liikennetutkalla.

Mittauskohteiksi valittiin sellaisia tien kaarteita, joissa kaarteeseen jyrkkyys on nopeutta rajoittava tekijä. Tällöin kiinnitettiin huomiota seuraaviin tekijöihin:

- pituuskaltevuus on mahdollisimman pieni kaarteessa ja sen läheisyydessä
- näkemä on mahdollisimman hyvä
- tien pinnan laatu ei ole rajoittavana tekijänä ajonopeuden valinnassa
- mittauspaikalla ei ole nopeusrajoitusta, joka voisi vaikuttaa tulokseen
- pysähtymiset ja sivutielle kääntymiset häiritsevät mahdollisimman vähän
- liikennettä on riittävästi (yli 50 ajon/h). ettei mittausaika muodostuisi kohtuuttoman pitkäksi.

Havaintopisteitä oli kaikkiaan 39, joista 31 sijaitsi Uudenmaan, 2 Turun ja 6 Hämeen piirin alueella.

Havaintopisteet jakaantuivat kaarresäteiden perusteella eri ryhmiin taulukossa 1 osoitetulla tavalla.

Taulukko 1. HAVAINTOPISTEIDEN JAKAANTUMINEN KAARRESÄTEEN PERUSTEELLA

Kaarresäde (m)	Havaintopisteitä	
	kpl	%
R = 25...50	7	17.9
51...100	10	25.7
101...200	16	41.0
201...400	5	12.8
yli 400	1	2.6

Nopeushavaintojen lukumäärä oli kaikkiaan 8688 kpl, joten keskimääräinen havaintojen luku pistettä kohden oli 223 kpl. Sateella suoritettiin 1614 mittausa eli n. 19 % kaikista havainnoista. Taulukossa 2 on osoitettu havaintojen jakautuminen päällysten ja sään mukaan.

Taulukko 2. NOPEUSHAVAINTOJEN JAKAANTUMINEN PÄÄLLYSTEEN JA SÄÄN MUKAAN

Päällyste	Sää	Havaintoja		Yhteensä	
		kpl	%	kpl	%
Asfaltti	Kuiva	3282	37.8	4247	48.9
"	Märkä	965	11.1		
Öljysora	Kuiva	2670	30.7	3319	38.2
"	Märkä	649	7.5		
Savisora	Kuiva	1122	12.9	1122	12.9
	Yht.	8688	100.0	8688	100.0

Havaintopisteitä oli 6 kpl taso- tai eritasoliittymien liittymäkaarteissa ja 33 kpl suoran tieosuuksien kaarteissa.

Mittaukset on suoritettu heinä- ja marraskuun välisenä aikana v. 1964. Mittausaika oli kaikkiaan 113 tuntia.

Jokaisessa tutkimuskohteessa mitattiin:

- kaarresäde
- sivukaltevuus
- pituuskaltevuus
- ajoradan leveys
- kääntymiskulma
- kaarteiden pituus
- näkemä (arvioimalla)

Tulokset ovat taulukossa 3.

Lisäksi tehtiin nopeuden mittauksen yhteydessä merkinnät esim. sateesta, sumusta, pimeydestä, ruuhkautumisesta jne.

Mittaus pyrittiin naamiointia hyväksikäyttäen suorittamaan siten, etteivät ajoneuvojen kuljettajat olisi tietoisia mittauksesta.

Ajoneuvojen laatu merkittiin seuraavasti:

H = henkilöauto, K = kuorma-auto, L = linja-auto, P = pakettiauto. Moottoripyöriä, mopedeja, traktoreita ym. ei ole otettu mukaan tutkimukseen.

2.2 Tutkimuksen tulokset

2.2.1 Havaintojen ryhmittely

Ajoneuvot ryhmiteltiin seuraaviin luokkiin:

- henkilöautot (H)
- kuorma-autot (K)
- linja- ja pakettiautot (L)
- ajoneuvot yhteensä (YHT.)

Mittauskohteittain ja ajoneuvoluokittain on määrätty seuraavat suureet:

- havaintojen kappalemäärä n
- maksiminopeudet v_{\max}
- nopeuksien keskiarvot $\bar{v} = \frac{\sum v_i}{n}$
- yksittäisten arvojen keskihajonta

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{v} - v_i)^2}{n - 1}}$$

- keskiarvon keskivirhe $\epsilon = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
- nopeuksien summakäyrien ordinaatat 5 km/h välein ja näiden perusteella graafisesti
- ns. 85 %:n nopeudet v_{85}

Koko tutkimusaineisto on jakautunut eri ajoneuvoluokkiin seuraavasti:

	kpl	%
henkilöautot	5303	61.0
kuorma-autot	2080	24.0
linja- ja pakettiautot	1305	15.0
yhteensä	8688	100.0

Koska kuorma-, linja- ja pakettiautojen lukumäärät jakautuivat hyvin epätasaisesti eri mittauspisteissä, on jäljempänä tarkasteltu alkuperäisistä tutkimuksesta poiketen ainoastaan henkilöautojen nopeuksia.

Nopeusmittausten tulokset on esitetty taulukossa 4.

2.2.2 Nopeuksien jakautumat

Nopeuksien jakautumista on esitetty taulukossa 4 suureet \bar{v} , v_{85} , v_{\max} , σ ja ϵ henkilöautojen osalta sekä kaikkien ajoneuvojen hetkellisten nopeuksien keskiarvo \bar{v} . Lisäksi on taulukossa esitetty havaintojen lukumäärät sekä henkilöautojen lukumäärän osuus (%) kaikista havainnoista. Nopeuksien summakäyrät on esitetty kuvassa 3.

Kuvassa 4 on graafisesti esitetty nopeus- ja hajonta-arvoja kaarresäteiden R sekä hetkellisten nopeuksien keskiarvon \bar{v} funktiona.

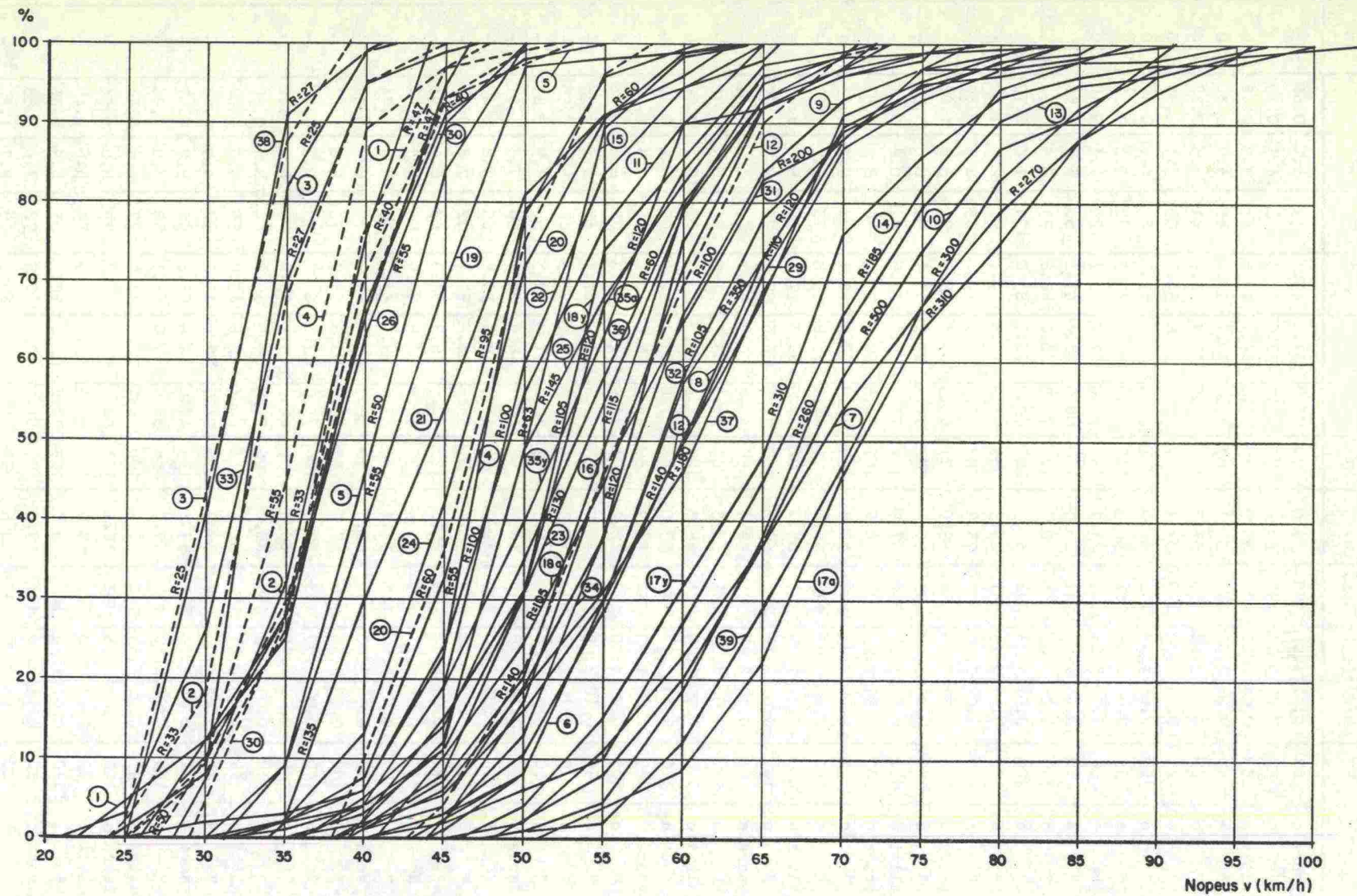
Kuvasta 4 nähdään, että \bar{v} on n. 9-12 % pienempi kuin v_{85} . Eräiden tutkimusten mukaan sateen aiheuttama nopeuden aleneminen on n. 8 %. Näin ollen voidaan sanoa, että kuivissa olosuhteissa saavutettu hetkellisten nopeuksien keskiarvo \bar{v} vastaa likimain sateisissa olosuhteissa saavutettua nopeutta v_{85} . Tämän vuoksi on myöhemässä

Taulukko 3. NOPEUSTUTKIMUSPAIKAT JA NIIDEN TIEOLOSUHTEET

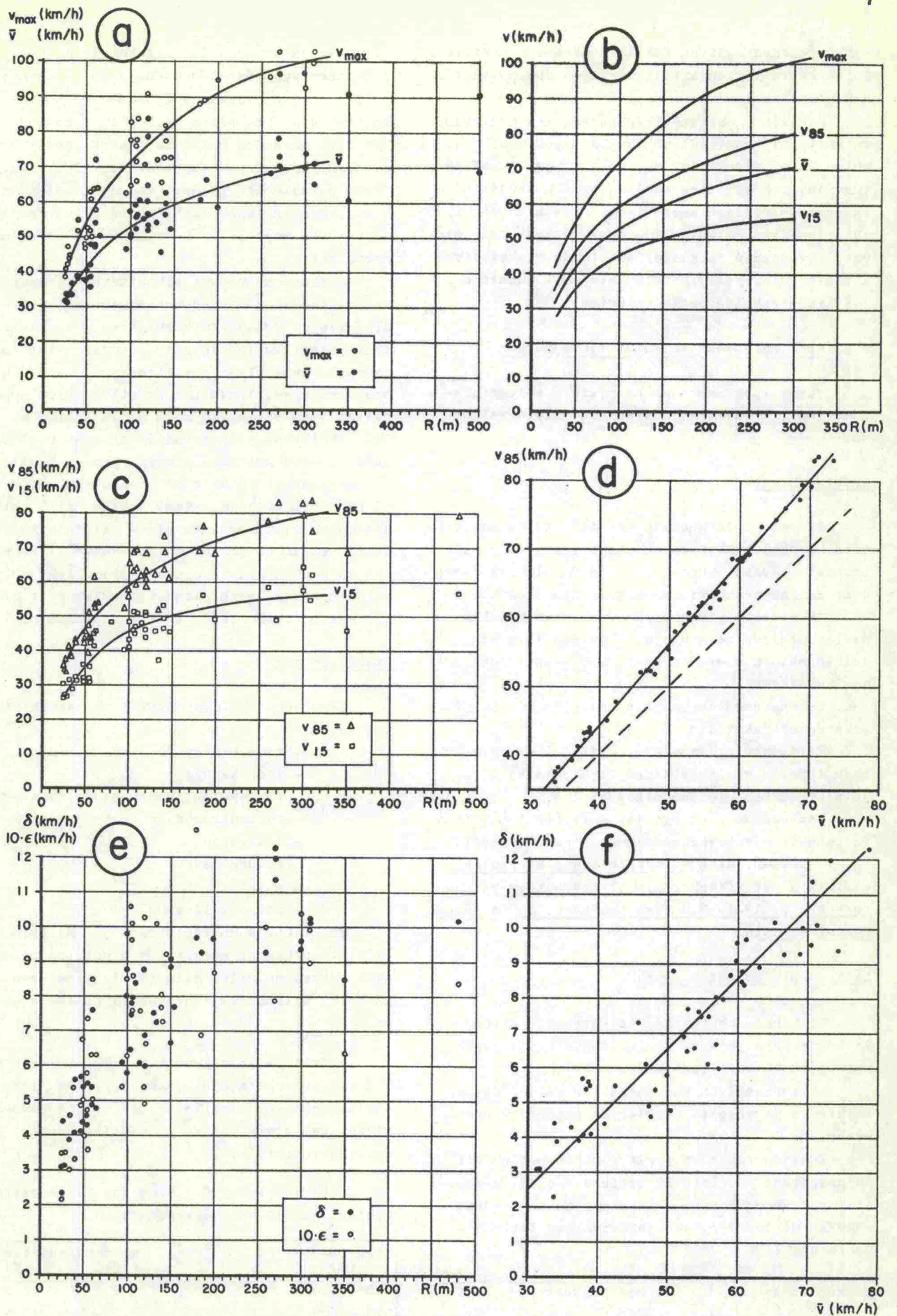
Mittauskohde	Kaarre- säde (m)	Keskimää- räinen sivu- kaltevuus (m/m)	Keski- määräi- nen pi- tuus- kalte- vuus (m/m)	Käänty- miskul- ma (g)	Kaar- teen pituus (m)	Näkemä (m)	Tien pinnan leveys	
							Suoralla	Kaarteessa
1. Mankkaa	47	0.07	0.05	90	80	-	5.4	6.0
2. Lauttasaari	33	0.04	0.04	230	130	-	5.5	5.9
3. Otaniemi s.	25	0.05	0.04	240	115	-	5.2	5.7
4. " u.	55	0.04	0.02	125	140	-	-	5.7
5. Leppävaara	50	0.04	0.02	300	180	-	5.3	6.1
6. Kauniainen	350	0.06	0.02	53	300	-	6.5	6.5
7. Keuposmäki	270	0.07	0.03	60	300	-	7.0	7.0
8. Sipoo	120	0.05	0.02	65	240	100	6.0	6.0
9. Siuntio	100	0.09	0.01	60	90	-	6.0	6.9
10. Stensvik	500	0.03	0.03	40	210	-	6.7	6.7
11. Espoo 1	100	0.07	0.02	55	100	80	5.8	6.5
12. " 2	140	0.07	0.03	45	90	100	6.3	7.4
13. Maantiekylä	260	0.06	0.02	52	250	-	7.0	7.8
14. Keimola	185	0.07	0.02	40	160	200	6.4	7.0
15. Lapinkylä	63	0.12	0.06	90	120	-	5.5	6.8
16. Nyby	115	0.04	0.03	53	120	80	5.5	5.0
17. Turuntie	310	0.05	0.04	30	140	-	7.0	7.0
18. Espoo 3	105	0.08	0.05	45	80	150	6.3	6.6
19. Espoon as.	55	0.10	0.02	70	70	100	5.6	6.1
20. Kauklahti	60	0.10	0.09	65	80	80	6.0	6.3
21. Fazerila	135	0.04	0.02	50	130	150	5.5	5.8
22. Veromiehenk.	100	0.06	0.00	45	80	-	6.0	6.5
23. Helsingin pit. 1	130	0.08	0.03	32	70	-	5.7	6.2
24. " 2	95	0.05	0.01	108	210	-	6.4	5.8
25. Vantaa 1	145	0.09	0.01	66	140	-	6.0	6.0
26. " 2	55	0.07	0.08	65	70	50	5.7	5.3
27. Rajamäki 1	107	0.08	0.01	71	210	-	6.8	6.6
28. " 2	140	0.08	0.01	36	110	150	6.1	5.8
29. Nukari	110	0.09	0.01	77	200	200	6.1	6.6
30. Tapiola	40	0.03	0.00	400	250	-	-	5.0
31. Espoo 4	200	0.03	0.03	24	100	150	6.2	5.9
32. Isokylä	105	0.07	0.01	55	200	-	6.7	6.7
33. Pori	27	0.02	0.00	400	170	-	-	8.2
34. Nokia	120	0.09	0.05	30	100	150	5.7	6.5
35. Huutijärvi	120	0.07	0.05	66	150	100	7.4	7.4
36. Kisaranta	60	0.13	0.01	95	120	-	6.4	7.4
37. Pälkäne	180	0.08	0.02	30	150	150	6.2	6.6
38. Hämeenlinna	27	0.04	0.03	83	40	-	-	-
39. Mäkelä	300	0.05	0.06	92	400	100	7.3	7.3

Taulukko 4. NOPEUSMITTAUSTEN TULOKSET

Kohde ja mitt. n:o	Päällyste ja sää o = kuiva e = märkä	Kaar- re- säde (m)	Sivu- kal- te- vuus (m/m)	Mit- ta- us aika (h)	Kaikki ajon.		Henkilöautot							No- peus- ra- joit- tus (km/h)
					Ha- vain- toja (kpl)	No- peuk- sien ka. \bar{v} (km/h)	Ha- vain- toja (kpl)	Hav. osuus (%)	(km/h)					
									\bar{v}	V_{85}	V_{max}	Σ	ε	
1.1	Öljysora o	47	0.07	3.08	150	39.0	70	46.7	37.8	43.4	47	5.7	0.68	-
1.2	" e	47	0.07	3.25	194	38.2	70	36.1	38.0	42.3	48	4.1	0.49	-
2.1	Asfaltti o	33	0.04	2.08	172	36.9	71	41.3	37.1	41.5	44	3.9	0.46	50
2.2	" e	33	0.04	2.50	342	33.4	163	47.7	34.1	38.1	45	3.9	0.30	50
3.1	" o	25	0.05	3.42	154	33.5	112	72.7	33.7	36.0	41	2.3	0.22	70
3.2	" e	25	0.05	2.00	120	31.1	77	64.2	31.8	34.7	39	3.1	0.35	70
4.1	" o	55	0.04	1.50	155	46.8	97	62.6	47.6	51.8	61	4.6	0.47	70
4.2	" e	55	0.04	1.42	207	36.9	140	67.6	36.1	39.5	52	4.3	0.36	70
5.1	" o	50	0.04	3.25	147	41.1	122	83.0	41.0	45.4	50	4.4	0.40	70
5.2	" e	50	0.04	3.00	127	38.5	108	85.0	38.4	43.5	53	5.4	0.50	70
6.1	" o	350	0.06	1.92	244	60.0	174	71.3	60.6	68.8	91	8.5	0.64	50
7.1	" o	270	0.07	1.33	296	68.3	207	69.9	70.6	83.0	103	11.4	0.79	lanella
7.2a	" o	270	0.07	0.75	61	69.3	39	63.9	73.3	..	97	12.0	1.92	-
7.2y	" o	270	0.07	0.75	93	73.2	67	72.1	78.6	..	103	12.3	1.50	-
8.1	Öljysora o	120	0.07	2.00	108	59.0	74	68.5	60.5	68.7	91	8.8	1.03	-
9.1	" o	100	0.09	3.00	97	56.8	72	74.2	57.8	65.1	83	8.0	0.98	-
10.1	Asfaltti o	500	0.03	1.00	204	67.0	147	72.1	69.1	79.5	91	10.2	0.84	-
11.1	Öljysora o	100	0.07	2.75	195	50.6	107	54.9	50.6	58.2	78	8.8	0.85	-
12.1	" o	140	0.07	1.83	199	59.3	155	77.9	59.9	68.7	82	9.1	0.73	-
12.2	" e	140	0.07	1.92	120	56.0	74	61.7	56.8	63.8	73	6.7	0.77	-
13.1	Asfaltti o	260	0.06	1.00	294	65.1	82	27.9	68.7	77.4	96	9.3	1.00	-
14.1	" o	185	0.07	2.17	255	64.2	180	70.6	66.6	76.1	89	9.3	0.69	-
15.1	Öljysora o	63	0.12	2.25	96	49.4	58	60.4	50.3	54.3	64	4.8	0.63	-
16.1	" o	115	0.04	3.75	111	53.6	64	57.7	55.7	61.6	71	6.1	0.76	-
17.1a	Asfaltti o	310	0.05	1.50	221	68.3	125	56.6	71.3	83.5	103	10.1	0.90	-
17.1y	" o	310	0.05	1.50	184	63.0	106	57.6	65.1	74.4	100	10.2	0.99	-
18.1a	Öljysora o	105	0.08	1.00	66	54.9	50	75.8	55.8	63.2	76	7.5	1.06	-
18.1y	" o	105	0.08	1.00	100	52.2	74	74.0	52.9	59.8	72	6.5	0.76	-
19.1	" o	55	0.10	2.00	148	41.9	90	60.8	42.5	47.7	63	5.5	0.58	-
20.1	" o	60	0.10	2.00	192	47.3	114	59.4	48.1	53.5	64	5.4	0.50	-
20.2	" e	60	0.10	2.00	122	46.5	59	48.4	47.3	52.3	58	4.9	0.63	-
21.1	Savisora o	135	0.04	1.75	131	46.5	52	39.7	45.9	52.1	66	7.3	1.01	-
22.1	" o	100	0.06	2.00	209	49.6	86	41.2	49.9	55.5	65	5.8	0.63	-
23.1	" o	130	0.08	2.92	153	56.0	85	55.6	54.6	62.1	72	7.5	0.81	-
24.1	" o	95	0.05	2.50	178	46.6	129	72.5	46.9	52.3	63	6.1	0.54	-
25.1	" o	145	0.09	2.50	125	51.9	70	56.0	52.8	60.9	73	7.7	0.92	-
26.1	" o	55	0.07	2.50	121	37.4	54	44.6	38.6	44.0	50	5.5	0.74	-
27.1	Öljysora o	107	0.08	2.00	134	56.5	78	58.2	55.4	61.8	75	8.1	0.92	-
27.2	" e	107	0.08	2.58	126	55.6	62	49.2	56.8	63.7	76	8.0	1.01	-
28.1	" o	140	0.08	1.83	132	59.4	100	75.8	59.6	68.2	79	8.5	0.85	-
28.2	" e	140	0.08	1.75	87	60.3	37	42.5	63.1	73.4	78	8.9	1.46	-
29.1	" o	110	0.09	2.92	185	60.3	96	51.9	61.0	69.2	84	8.4	0.86	-
30.1	Asfaltti o	40	0.03	0.75	152	38.4	104	68.4	38.6	43.8	55	5.6	0.54	-
30.2	" e	40	0.03	1.00	169	38.9	155	91.7	39.0	43.2	52	4.1	0.33	-
31.1	Öljysora o	200	0.03	2.42	282	57.6	124	44.0	59.0	68.6	95	9.7	0.87	-
32.1	" o	105	0.07	2.50	100	59.7	66	66.0	59.8	68.7	78	7.8	0.96	-
33.1	Asfaltti o	27	0.02	1.50	150	33.2	100	66.7	33.8	37.7	47	4.4	0.44	-
34.1	Savisora o	120	0.09	0.83	205	56.1	124	60.5	57.2	62.9	79	6.0	0.54	-
35.1a	Asfaltti o	120	0.07	1.50	215	53.9	183	85.1	53.9	60.3	84	6.6	0.49	-
35.1y	" o	120	0.07	1.50	147	50.8	108	73.5	52.2	59.1	65	6.9	0.66	-
36.1	Öljysora o	60	0.13	2.00	131	53.3	80	61.1	54.3	61.8	72	7.6	0.85	-
37.1	" o	180	0.08	2.00	93	60.6	57	61.3	61.1	69.3	88	9.7	1.28	-
38.1	Asfaltti o	27	0.04	0.50	138	30.6	78	56.5	31.4	34.3	42	3.1	0.35	50
39.1a	Öljysora o	300	0.05	0.75	51	73.7	42	82.4	74.4	83.0	97	9.4	1.46	-
39.1y	" o	300	0.05	0.75	100	68.1	85	85.0	70.3	79.3	93	9.6	1.04	-



Kuva 3. Henkilöautojen nopeuksien summakäyrät



Kuva 4. Henkilöautojen nopeusarvoja ja nopeuksien hajonta-arvoja kaarresäteen sekä nopeuksien keskiarvon funktiona.

tarkastelussa sopivaa valita nopeus \bar{v} suunnittelussa käytettävien mitoitusarvojen suuruutta tarkasteltaessa.

Kuvassa 4 esitettyihin nopeuksien suuruuksiin vaikuttavat kaarresäteen lisäksi myös muut tekijät kuten esim. sivukaltevuus, näkemä, pituuskaltevuus jne. Näin ollen saattaisivat nopeudet olla samansäteisissä kaarteissa kuvassa 4 esitetyistä poikkeavia, mikäli nämä muut tekijät vaihtelevat. Myöhemmin tarkastellaan tämän vuoksi sivukitka-arvoja, jolloin tulee otetuksi huomioon myöskin sivukaltevuuden vaikutus.

2.23 Eri tekijöiden vaikutus ajonopeuteen

Tässä tutkimuksessa on pyritty selvittämään sää-, liikenne- ja tieolosuhteiden vaikutusta.

Sääolosuhteet

Pääosan tutkimusaineistosta muodostavat kuivissa kesäolosuhteissa suoritettujen nopeuden mitaukset. Koska suunnitteluohjeiden lähtökohtana ovat märkää kesäkeliä vastaavat ajo-olosuhteet, on tutkimusaineistoon pyritty saamaan myöskin sadeolosuhteiden havaintoja. Käytännöllisistä syistä näiden määrä on kuitenkin jäänyt suhteellisen vähäiseksi.

Seuraavassa on vertailu suoritettu sivukitkakerrointa käyttäen.

Mittaustuloksissa 27.1. ja 28.1 on jälkepäin todettu systemaattinen virhe, joten ne on jätetty tarkasteluiden ulkopuolelle.

Taulukossa 5 on pyritty selvittämään sateen vaikutusta sivukitkakertoimeen (henkilöautot).

Todetaan, että pienisäteisissä kaarteissa esiintyvä sivukitkakerroin alenee sateen vaikutuksesta n. 14-16 %. Tämä vastaa n. 8 %:n nopeuden alenemista.

Liikenneolosuhteet

Liikenneolosuhteista vaikuttavat lähinnä liikennemäärä ja ajoneuvokoostumus yksittäisen ajoneuvon hetkelliseen nopeuteen.

Liikennemäärän kasvaessa alenee nopeuksien keskiarvo ja hajonta keskiarvon ympärillä pienenee.

Tutkimuksessa on pyritty nopeusmittauksiin ajankohtana, jolloin liikenteessä olisi mahdollisimman vapaa nopeus. Seuraavassa taulukossa nähdään mittauskertojen jakautuminen liikennemääräluokkiin.

Liikennemäärä (ajon./h)	Mittauskertoja (kpl)	(%)
0-100	30	60
101-200	10	20
201-300	10	20

Yht. 50 100

Liikenteen noustessa kaksiajorataisella tiellä yhteen suuntaan 200 ajon./h on liikennemäärällä ilmeinen vaikutus ajoneuvojen nopeuksiin. Tutkimuksessa on ollut molempien suuntien yhteinen liikennemäärä kaikissa tapauksissa < 300 ajon./h ja 80 %:ssa tapauksista < 200 ajon./h. Tämän perusteella voidaan sanoa, ettei tässä tutkimuksessa liikennemäärällä ole ollut sanottavaa vaikutusta nopeuksien keskiarvoa ja hajontaa pienentävästi.

Raskaat ajoneuvot aiheuttavat yleensä liikennevirrassa ajoneuvojen nopeuksien keskiarvojen alenemista. Tässä tutkimuksessa ovat kaarresäteet olleet kuitenkin niin pieniä, ettei tällaista vaikutusta ollut havaittavissa. Monessa tapauksessa kuorma-, linja- ja pakettiautojen nopeudet olivat jopa suurempia kuin henkilöautojen.

Taulukkoa 4 ja kuvaa 5 tarkastelemalla voi todeta, että kaikkien ajoneuvojen ja henkilöautojen keskiarvot poikkeavat toisistaan vasta yli 60 km/h nopeuksilla. Tämä johtuu siitä, että kuorma-autojen nopeusrajoitus oli tutkimuksen suoritusajankohtana 60 km/h. Koska liikennemäärät näissä tapauksissa eivät ole olleet suuria, voidaan sanoa, että ajoneuvokoostumus ei ole mainittavasti vaikuttanut tutkimustuloksiin.

Tieolosuhteet

Tieolosuhteet määräytyvät mm. seuraavista tekijöistä:

- tien päällyste
- tien leveys
- risteysten lukuisuus ja läheisyys mittauskohdasta
- kaarresäde
- sivukaltevuus
- näkemät
- pituuskaltevuus

Em. tietoja on taulukossa 3. Milloin näkemä ei ole taulukkoon merkitty, tarkoittaa se sitä että näkemä on ollut niin suuri, ettei sen ole katsottu missään tapauksessa rajoittavan ajonopeutta.

Asfaltti- ja öljysora päällysteillä ei nopeuksissa ole todettu eroja, sensijaan savisorapäällysteisillä teillä ovat nopeudet ja sivukitkan arvot olleet selvästi pienemmät kuin em. päällysteillä.

Tien leveyden perusteella mittauskohteet jakautuvat seuraavasti:

Tien leveys (m)	Mittauskohteita (kpl)	(%)
5.0 - 5.4	2	5.6
5.5 - 5.9	7	19.4
6.0 - 6.4	7	19.4
6.5 - 6.9	12	33.3
7.0 - 7.4	6	16.7
7.5 - 7.9	2	5.6

Yht. 36 100.0

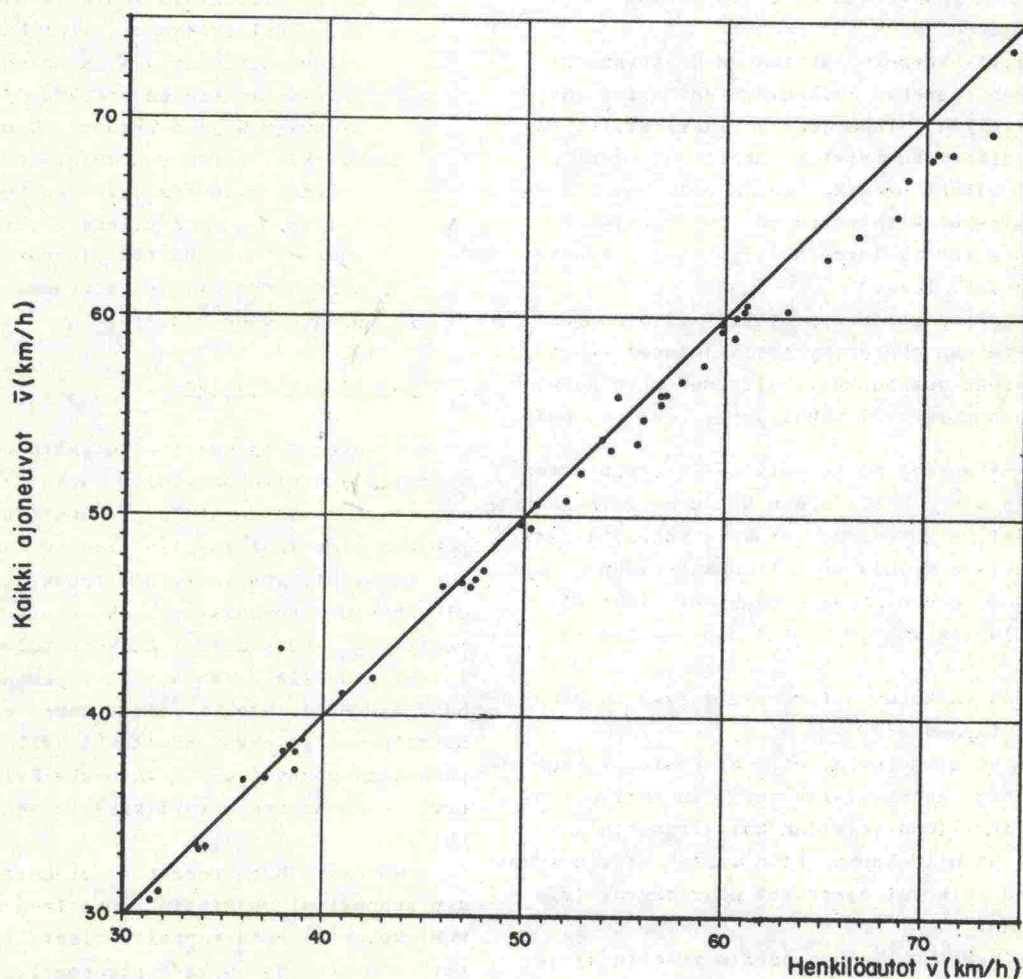
Taulukko 5. SATEEN VAIKUTUS SIVUKITKAKERTOIMEEN

N:o	Päällyste		Havain- tojen luku (kpl)	Kaarre- säde R (m)	\bar{v} (km/h)	$f(\bar{v})$ (-)	Vähennys (%)	v_{85} (km/h)	$f(v_{85})$ (-)	Vähennys (%)
	laatu	kuiva/ märkä								
1.1	ös	kuiva	70	47	37.9	0.17		43.4	0.25	
1.2	"	märkä	70	47	38.0	0.17	0	42.3	0.23	8
2.1	asf	kuiva	71	33	37.1	0.29		41.5	0.37	
2.2	"	märkä	163	33	34.1	0.24	17	38.1	0.31	16
3.1	"	kuiva	112	25	33.7	0.31		36.0	0.36	
3.2	"	märkä	77	25	31.8	0.27	13	34.7	0.33	8
4.1	"	kuiva	97	55	47.6	0.28		51.8	0.34	
4.2	"	märkä	140	55	36.1	0.15	46	39.5	0.18	47
5.1	"	kuiva	122	50	41.0	0.22		45.4	0.28	
5.2	"	märkä	108	50	38.4	0.19	14	43.5	0.26	7
12.1	ös	kuiva	155	140	59.9	0.13		68.7	0.20	
12.2	"	märkä	74	140	56.8	0.11	15	63.8	0.16	20
20.1	"	kuiva	114	60	48.1	0.20		53.5	0.28	
20.2	"	märkä	59	60	47.3	0.19	5	52.3	0.26	7
30.1	asf	kuiva	104	40	38.6	0.26		43.8	0.35	
30.2	"	märkä	155	40	39.0	0.27	-4	43.2	0.34	3

Keskimääräinen vähennys

14.1 %

15.2%



Kuva 5. Henkilöautojen ja kaikkien ajoneuvojen keskinopeuksien välinen yhteys

Onko kukaan pealehti
nopeusmitta?

Tien leveydellä ei tutkimuksessa todettu olevan suurta vaikutusta ajoneuvojen nopeuksiin.

Risteyksien vaikutus pyrittiin tutkimuskohteiden valinnassa ja tutkimuksia suoritettaessa saamaan mahdollisimman vähäiseksi. Risteyksien nopeutta alentava vaikutus ei tässä tutkimuksessa ole tullut esille.

Tulosten vertailussa on edullista käyttää sivukitkaa tutkittavana suurena, koska se ottaa huomioon sekä kaarresäteen että sivukaltevouden samanaikaisesti.

Kuvassa 6 on esitetty sivukaltevuus- ja sivukitka-arvot eri kaarresäteillä ja nopeuksilla. Alimmissa kuvissa on esitetty keskipakoiskiihtyvyys kaarresäteen ja nopeuden \bar{v} funktiona.

Kuvasta 6 voidaan tehdä seuraavat havainnot:

- Havaitut sivukaltevuudet ovat yleensä olleet varsin suuria (n. 2/3 yli 5 %) (6a ja 6b).
- Sivukaltevuudet eivät ole olleet kovinkaan selvässä riippuvaisuussuhteessa kaarresäteisiin (6a).
- Sivukitkakerroin on selvemmin riippuvainen kaarresäteestä kuin nopeudesta. (6c ja 6d).
- Sivukitkakerroin näyttää muodostuvan erityisen suureksi kaikkein pienimmillä kaarresäteillä. Tämä johtuu osaksi siitä, että tällöin käytetyt sivukaltevuusarvot ovat olleet pieniä. (6c ja 6a).
- Keskipakoiskiihtyvyys on vielä selvemmin kuin sivukitkakerroin riippuvainen kaarresäteestä. (6e).
- Tuloksista voidaan päätellä että nopeus kaarteissa määräytyy ensisijaisesti kaarresäteen mukaan, sivukaltevouden vaikutus on huomattavasti vähäisempi. (6e, 6c, 6a).

Tutkimuskohteet on pyritty valitsemaan siten, etteivät näkemäolosuhteet ainakaan ratkaisevasti vaikuttaisi nopeuksia rajoittavasti. Käytännöllisistä syistä on mittauskohteiden joukossa eräitä joiden näkemäolosuhteet eivät ole hyvät. Tällaisia kohteita ovat n:ot 8, 11, 12, 16, 26 ja 39.

Näkemien vaikutusta tarkasteltaessa on erotettu kaksi tapausta:

- a) tie on niin leveä, että ajoneuvot voivat kulkea vastakkaisiin suuntiin omilla ajo-kaistoillaan toisiaan häiritsemättä ja
- b) tie on niin kapea, että vastakkaisiin suuntiin kulkevat ajoneuvot häiritsevät toisiaan.

Tutkittavat kohteet on jaettu ryhmiin a) ja b). Tämän jälkeen on verrattu mitattua näkemää ryhmässä a) Vto:n mukaiseen pysähtymisnäkemään ja ryhmässä b) Vto:n mukaiseen kohtaamisnäkemään.

Tällöin on todettu, että näkemäolosuhteet ovat olleet rajoitetut em. kohteissa 8, 11, 12, 26 ja 39. Näissä kohteissa saadut sivukitkakertoimien arvot eivät kuitenkaan ole merkittävästi poikenneet muiden kohteiden tuloksista.

Näkemän vaikutuksesta ajoneuvon hetkelliseen nopeuteen voidaan tämän tutkimuksen perusteella sanoa, että vaikutus on yleensä pieni. Tapauksissa, jolloin on havaittu selvää alenemista sivukitkakertoimen arvossa, on ajonopeuteen ollut vaikuttamassa samanaikaisesti useita rajoittavia tekijöitä ja näkemän osuutta siinä on vaikea todeta.

Pituuskaltevouden vaikutuksesta on todettu seuraavaa:

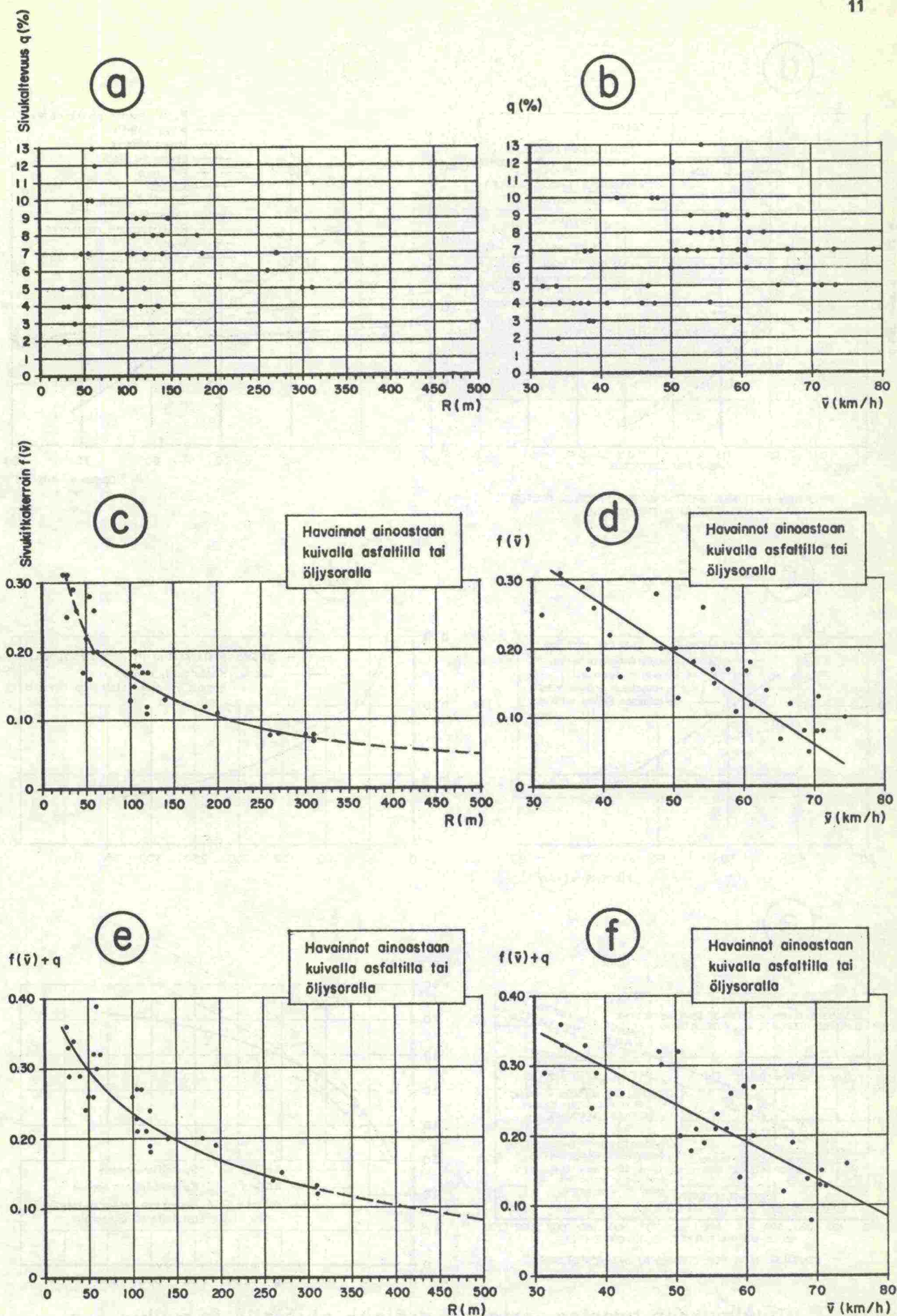
- 1) Loivissa, pitkissä kaarteissa on ajonopeus ylöspäin ollut pienempi kuin alaspäin ajettaessa. Tällaisia kohteita ovat n:ot 17, 35 ja 39. Kaikissa näissä on pituuskaltevuus vaikuttanut pitkällä matkalla.
- 2) Jyrkissä kaarteissa joissa on esiintynyt suuri pituuskaltevuus mutta se on vaikuttanut lyhyellä matkalla, on nopeus ylöspäin muodostunut suuremmaksi kuin alaspäin. Tällaisia kohteita ovat n:ot 20 ja 26. Edellisessä on ollut kaarresäde 60 m, pituuskaltevuus 9 % ja näkemä n. 80 m, jälkimmäisessä kaarresäde 55 m, pituuskaltevuus 8 % ja näkemä n. 50 m.
- 3) Myöskin suuren kaarresäteen tapauksessa, jolloin pituuskaltevouden vaikutusalue oli 500 m eikä pituuskaltevuus ollut suuri (3 %), näytti ylöspäin ajettaessa nopeus muodostuvan suuremmaksi kuin alaspäin (kohde n:o 7).

2.3 Tulosten vertailua

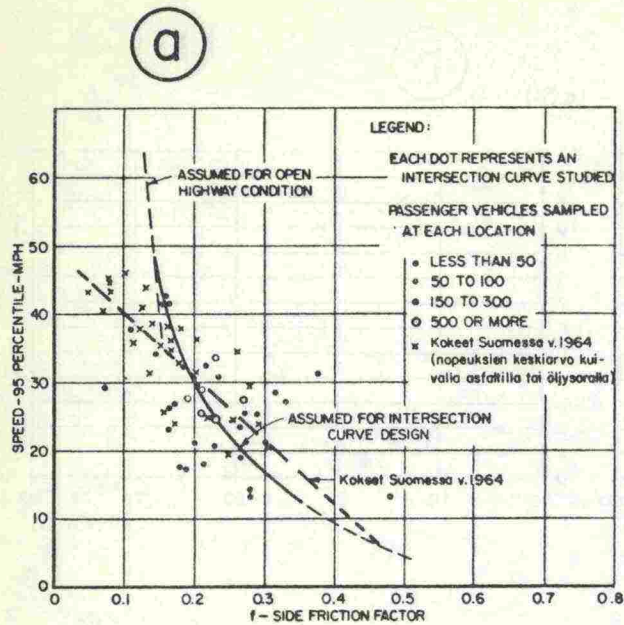
Kuvassa 7 on suoritettu saatujen tulosten vertailu eräisiin ohjeisiin ja koetuloksiin.

Kuvassa 7a on AASHO:n suunnitteluohjeiden pohjana oleviin tuloksiin lisätty tämän tutkimuksen tulokset. On tehty oletamus, että kuivien olosuhteiden nopeuksien keskiarvo \bar{v} vastaisi nopeutta v_{85} sadesäällä. AASHO:n tulokset ovat saateisella säällä saavutettuja nopeusarvoja v_{95} . Nähdään, että tulokset eivät juuri eroa toisistaan. Suomalaiset tulokset näyttävät kylläkin tukevan paremmin suoraviivaista kuin käyräviivaista riippuvaisuussuhdetta sivukitkakertoimen ja nopeuden välillä.

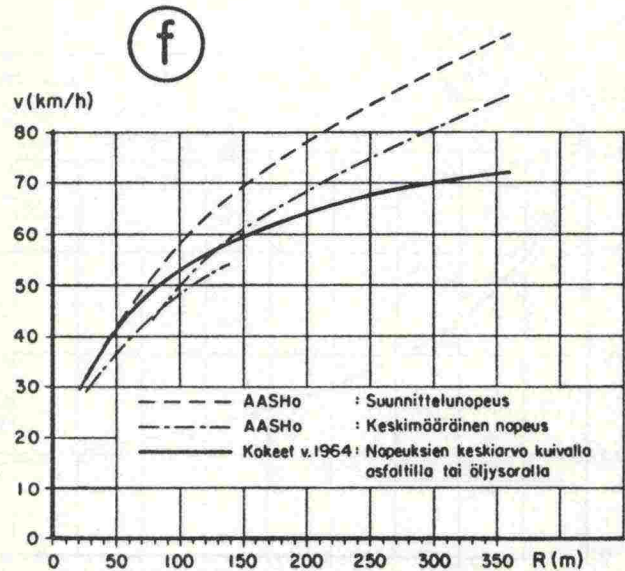
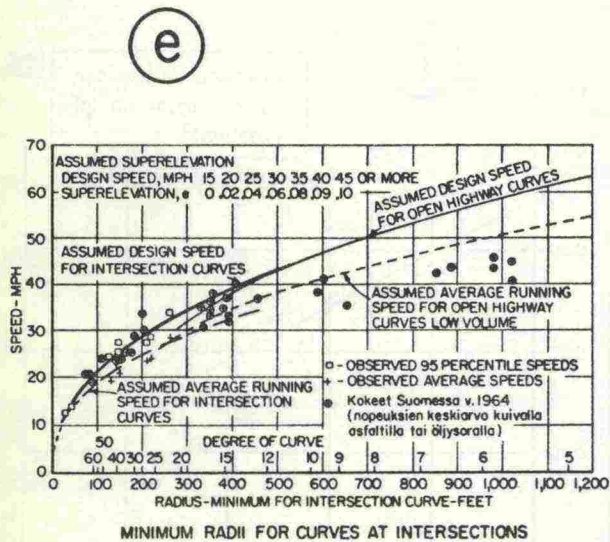
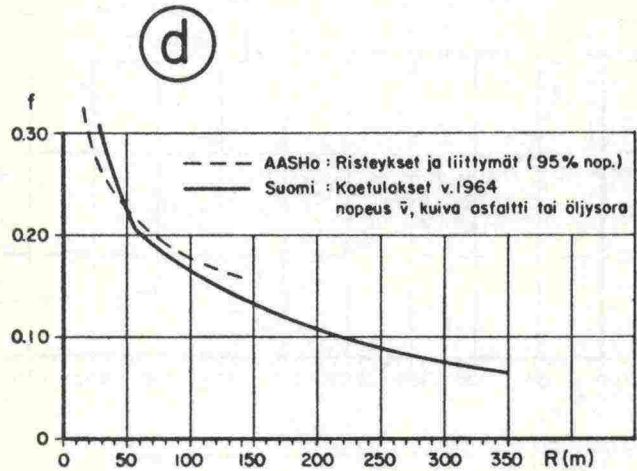
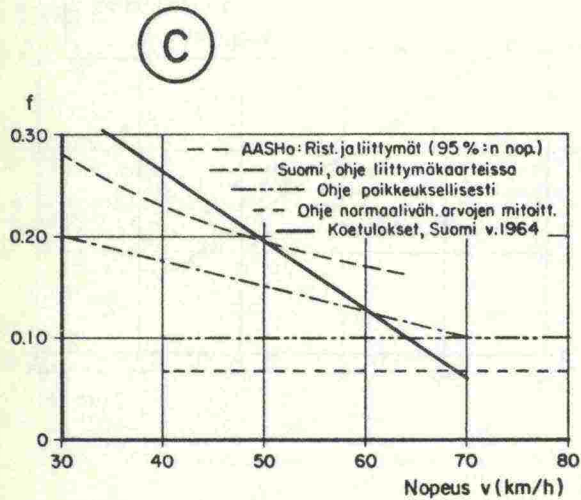
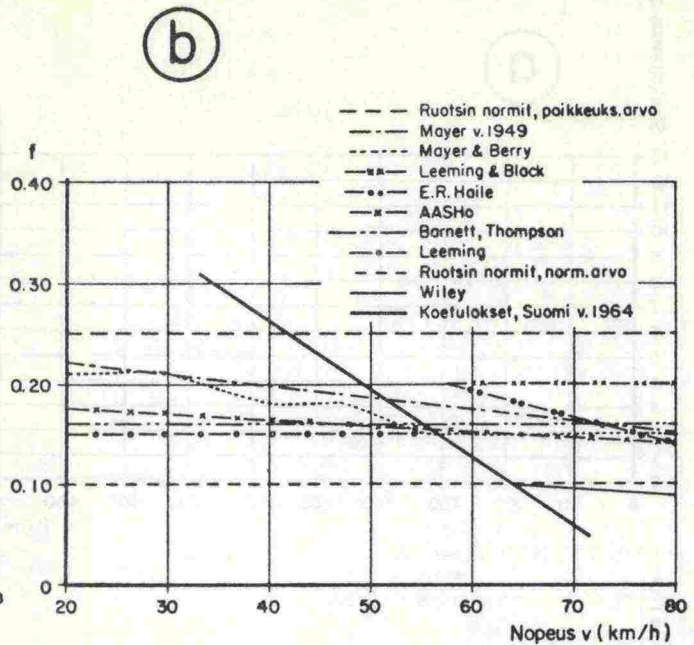
Kuvassa 7b on verrattu tuloksia eräiden maiden suunnitteluohjeisiin. Ohjeissa on kysymys sivukitkakertoimesta vapaalla tieosalla. Havaitaan että nopeutta 55-60 km/h pienemmillä nopeuksilla on saavutettu suurempia sivukitkakertoimen arvoja kuin mitä ohjeet yleensä edellyttävät. Kokeissa on ollut mukana myöskin liittymäkaarteita.



Kuva 6. Sivukaltevuus- ja sivukitka-arvot kaarresäteen ja keskinopeuden funktiona.



RELATION BETWEEN SPEED AND SIDE FRICTION FACTOR ON CURVES AT INTERSECTIONS



Kuva 7. Tutkimuksen tulosten vertailua eräisiin ohjeisiin ja muihin kokeetuluihin.

Kuvassa 7c verrataan koetuloksia suomalaisiin ohjeisiin sekä AASHO:n risteyksiä ja liittymiä varten esittämään ohjeeseen. Nähdään, että koetulokset ylittävät suomalaiset ohjeet alle 60-70 km/h nopeuksilla ja amerikkalaiset ohjeet alle 50 km/h nopeuksilla. Meillä on sivukitakerroin pienillä nopeuksilla siis muodostunut suhteellisen suureksi.

Kuvasta 7d käy selville, että alle 50 m:n kaarteissa on meillä sivukitakerroin muodostunut suuremmaksi kuin amerikkalaisilla.

Kuvista 7c ja 7f nähdään, että meillä on alle 300 jalan (100 m:n) kaarteisissa säteisissä ajettu likimain yhtä suurella nopeudella kuin AASHO:n tutkimuksissa. Kaarresäteiden ollessa yli 500 jalkaa (150 m) on meillä ajonopeus muodostunut AASHO:n otaksimia nopeuksia pienemmäksi.

On syytä todeta, että kuivissa olosuhteissa saavutettu nopeus \bar{v} ja märän kelin v_{95} eivät ilmeisesti aivan vastaa toisiaan vaan sateisien olosuhteiden v_{95} lienee yleensä suurempi kuin edellä mainittu \bar{v} .

2.4 Yhteenveto

Ajoneuvon hetkelliseen nopeuteen vaikuttaa suuri määrä erilaisia tekijöitä (kuva 1). Tässä tutkimuksessa on eräiden tekijöiden vaikutusta pyritty poistamaan esim. tutkimuksen ajankohdan ja paikan valinnalla. Tällaisia tekijöitä ovat olleet esim. pituuskaltevuus, näkemäolosuhteet, tien pinta, nopeusrajoitukset, risteykset ja liikennemäärät. Päätarkoituksena on ollut saada selville kaarresäteen ja sivukaltevuuden vaikutus ajoneuvojen nopeuksiin ja sivukitakerroimen arvoihin.

Eri tekijöiden vaikutuksesta ajoneuvojen hetkelliseen nopeuteen on saatu seuraavia tuloksia:

1. Säättekijät

Vesisade on alentanut sivukitakerroimia pientä säteisissä kaarteissa keskimäärin n. 15 %. Tämä vastaa nopeuden alenemista n. 8 %.

2. Tien päällyste:

Savisorateilla ovat nopeudet ja sivukitakerroimen arvot olleet selvästi asfaltti- ja öljysorateilla havaittujen arvojen pienempiä. Viimeksimainittujen välillä ei ole havaittu eroja.

3. Tien leveys:

Tien leveydellä ei ole havaittu mainittavaa vaikutusta. Kohteessa n:o 16

on saavutettu eräällä kaikkein pienimmistä tien leveyksistä jopa keskimääräistä suurempi sivukitakerroimen arvo.

4. Näkemät:

Rajoitetun näkemän vaikutus yksinään on ollut hyvin pieni. Milloin on ollut vaikuttamassa samanaikaisesti useita rajoittavia tekijöitä (pituuskaltevuus, huonot näkemäolosuhteet, kapea tie), on nopeutta pienentävä vaikutus ollut selvästi havaittavissa.

5. Pituuskaltevuus:

Jos nousu on ollut pitkä, on se vähentänyt ylöspäin ja kasvattanut alaspäin ajavien nopeutta. Lyhyet, suuren nousut eivät näytä alentavan nopeuksia, päinvastoin on ollut jopa havaittavissa ylöspäin ajettavan suuremmalla nopeudella kuin alaspäin.

6. Kaarresäde ja sivukaltevuus:

Kaarresäde näyttää vaikuttavan hyvin voimakkaasti nopeuksiin, sivukitakerroimiin ja hajontoihin. Sivukaltevuudella ei ole niin suurta vaikutusta.

Vertailussa eri maiden suunnitteluohjeisiin on vertailukohtana käytetty asfaltti- ja öljysorapäällysteillä kuivissa olosuhteissa saavutettuja nopeuksien keskiarvoja ja niiden perusteella laskettuja sivukitakerroimen arvoja. Näiden on oletettu vastaavan nopeutta v_{85} ja sivukitakerrointa $f(v_{85})$ sateisissa olosuhteissa.

Tulosten perusteella todetaan meillä käytettävän pientä säteisissä kaarteissa, $R \leq 120$ m, suurempia nopeuksia ja sivukitakerroimen arvoja kuin suunnitteluohjeet yleensä edellyttävät. Kaarresädetä $R = 120$ m vastaava nopeus on n. 55 km/h. Edellä mainittua suurempisäteisissä kaarteissa ovat nopeudet muodostuneet ohjeiden edellyttämiä pienemmiksi.

Suomalaiset suunnitteluohjeiden arvot ylittää liittymissä nopeuden ollessa ≤ 60 km/h ja kaarresäteen ≤ 150 m sekä vapaalla tieosuudella nopeudella $v \leq 69$ km/h ja kaarresäteen arvolla $R \leq 280$ m.

Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että pientä säteisissä kaarteissa voitaisiin käyttää entistä suurempia sivukitkan arvoja (kuva 7c). Suora voisi kulkea pisteen $f = 0.25$ nopeudella $v = 30$ km/h kautta. Toinen suoran määräävä piste voisi olla $f = 0.10$, $v = 70$ km/h. Vapaan tieosan kaarteissa suora voisi kulkea pisteiden $f = 0.15$, $v = 30$ km/h ja $f = 0.07$, $v = 70$ km/h kautta.

NOPEUDEN RIIPPUVUUS KAARRESÄTEESTÄ v.1970 SUORITETTUIJEN MITTAUSTEN MUKAAN

TEPPO MIIKKULAINEN

1. TUTKIMUSAINEISTO JA SEN KÄSITTELY

Tässä tarkastelussa on pyritty selvittämään nopeuden riippuvuutta kaarresäteestä vuonna 1970 tehtyjen nopeusmittausten valossa. Tutkimusaineistona on käytetty pistekohtaisten nopeussuositusten ja tarkkailevan nopeustutkimuksen tähän tarkoitukseen soveltuvia tutkimuspisteitä ja niistä saatuja nopeushavaintoja.

Osa pistekohtaisista nopeussuosituksista on asetettu poikkeuksellisen jyrkkiin kaarteisiin. Nopeushavainnoista on osa tehty ennen suositusten asettamista ja osa suositusten voimassa ollessa. Kaarresäteen suuruuden on havaittu vaikuttavan nopeuteen suhteellisesti paljon voimakkaammin kuin nopeussuosituksen, joten tämän tarkastelun kannalta nopeussuositusten olemassa ololla ei liene paljoa vaikutusta tutkimuksen tulokseen. Tähän tarkasteluun on otettu mukaan yhteensä 10 nopeussuosituspistettä joissa kaarteiden säde vaihteli 120...800 m:iin.

Tarkkailevan nopeustutkimuksen tarkoituksena on selvittää, kuinka nopeudet vaihtelevat ajan kuluessa. Tutkimusta varten on valittu 15 nopeustutkimuspistettä, joissa on tieolosuhteiden puolesta mahdollisuus suhteelliseen vapaaseen nopeuden valintaan. Tähän tarkasteluun on valittu 6 kpl suoralla tieosalla sijaitsevaa tarkkailevan nopeustutkimuksen pistettä, jotta saataisiin selville, mitä nopeuksia nopeudet lähestyvät kaarresäteen kasvaessa.

Kaikki edellä mainitut pisteet sijaitsevat valta- ja kantateillä ja päällysteenä niissä on kestopäällyste, joten voidaan olettaa, että nopeuden valinta on ollut riippuvainen lähinnä kaarresäteen suuruudesta.

Kussakin pisteessä on suoritettu useita mittauksia joko tekn.tal.toimiston tai liikkuvan poliisin toimesta. Havaintomateriaalista on laskeutu mittauskerroittain ajoneuvojen keskinopeus (\bar{v}), 85 %-nopeus (v_{85}) ja 95 %-nopeus (v_{95}). Eri mittauskertojen tulokset on yhdistetty senjälkeen pisteittäin.

2. TUTKIMUKSEN TULOKSET

Taulukossa 1 on esitetty valitut nopeussuosituspisteet, niiden paikka, kaarresäde sekä em. nopeudet erikseen henkilöautoille ja kaikille ajoneuvoille.

Taulukossa 2 on esitetty valitut tarkkailevan nopeustutkimuksen pisteet, niiden paikka sekä nopeudet erikseen henkilöautoille ja kaikille ajoneuvoille.

Taulukon 1 perusteella on merkitty kuvaan 1 \bar{v} :n, v_{85} :n ja v_{95} :n riippuvuus kaarresäteestä sekä taulukon 2 perusteella nopeudet suoralla tieosalla ($R = \infty$)

Kuvaan saatujen pisteiden avulla on piirretty silmämääräisesti käyrät, jotka kuvaavat nopeuden riippuvuutta kaarresäteestä. Käyrät näyttävät lähestyvän suoralla tiellä saatuja nopeusarvoja kaarresäteen ylittäessä 1000 m.

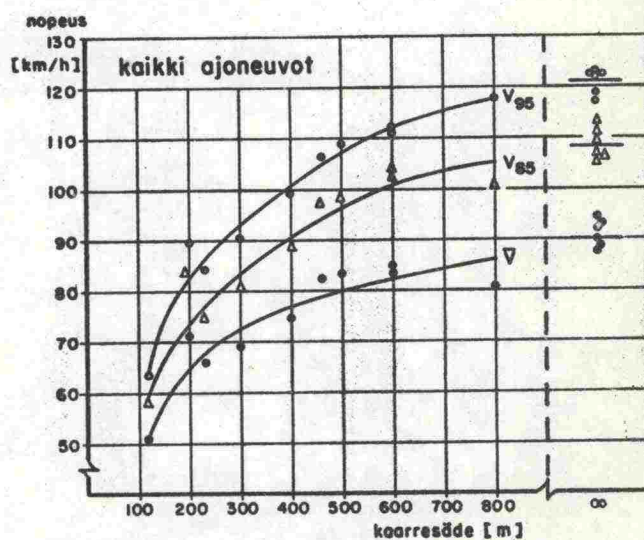
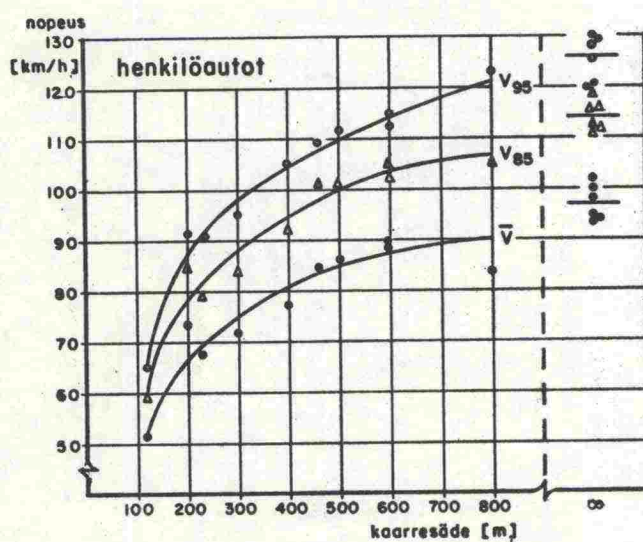
Taulukko 1
Nopeussuosituspisteiden paikat ja tulokset

N:o	Pisteen paikka	Kaarresäde (m)	Henkilöautot			Kaikki ajon.		
			\bar{v}	v_{85}	v_{95}	\bar{v}	v_{85}	v_{95}
H12	Vt 12 (21 km Kangassalalta)	120	52,0	59,0	65,0	51,1	58,1	63,7
K18	Mt Kouvola - Mikkeli (15 km Kouvola)	200	73,9	85,0	91,3	71,8	83,0	89,3
K13	Vt 13 Suomensalmi (41-43 km Mikkelistä)	230	68,3	79,3	91,0	66,4	75,0	84,0
K15	Kt 60 (6 km Kouvola)	300	72,1	83,8	95,0	63,4	80,9	90,4
H5I	Vt 4 Kuhmoinen I (88 km Lahdesta)	400	77,4	91,5	104,5	74,8	89,0	99,0
H5II	Vt 4 Kuhmoinen II (89 Lahdesta)	460	84,8	100,3	109,0	82,4	96,8	106,5
K4	Vt 6 Rautjärvi (19 km Imatralta)	500	86,0	100,7	111,7	83,5	97,8	108,7
K2	Vt 6 Taavetti (41-43 km Kouvola)	600	87,5	104,5	114,5	83,1	101,5	112,1
K1	Vt 6 Kaipainen (30 km Kouvola)	600	87,9	103,0	112,0	83,3	102,0	111,2
K3	Vt 6 Joutseno (30 km Lappeenrannasta)	800	84,5	105,0	123,0	80,9	100,5	117,5

Taulukko 2

Tarkkailevan nopeustutkimuksen paikat ja tulokset

N:o	Pisteen paikka	Henkilöautot			Kaikki ajon.		
		\bar{v}	v_{85}	v_{95}	\bar{v}	v_{85}	v_{95}
T2	Vt 1 Muurla	94,4	112,7	119,3	89,2	106,5	117,0
T3	Vt 2 Pusula	99,6	115,2	125,5	94,6	108,8	122,0
T4	Vt 2 Punkalaidun	101,8	118,6	130,1	93,8	112,8	122,6
T5	Vt 2 Kokemäen kunta	98,3	115,8	127,9	92,1	107,2	122,3
T8	Vt 4 Mäntsälä	93,9	112,0	129,1	87,6	106,7	122,5
T10	Vt 6 Elimäki	94,6	111,3	120,2	90,7	103,5	118,6
Keskiarvo		96,6	113,9	125,8	90,1	108,3	121,1



Kuva I. Nopeuden riippuvuus kaarresäteestä

A9. NOUSUKAISTA

GEOMETRINEN TOIMIKUNTA

0.	YLEISTÄ	1
1.	NOUSUKAISTAN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDISTA JA TAVOITTEISTA	1
2.	ULKOMAINEN KÄYTÄNTÖ	1
	2.1 Sveitsi	2
	2.2 Saksa	2
	2.3 USA (AASHO)	2
	2.4 Ruotsi	3
	2.5 Norja	4
3.	EHDOTUS OHJEIDEN PERUSTEIKSI	5
	Lähdeluettelo	6

0. YLEISTÄ

Pitkät yhtämittaiset ja jyrkät nousut rajoittavat ajoneuvon nopeuden valintamahdollisuuksia. Raskaiden ja suorituskyvyltään heikkojen ajoneuvojen nopeus pienenee nousun kohdalla. Nämä ajoneuvot rajoittavat muiden ajoneuvojen liikkumista. Seurauksena tästä voi muodostua jonoja ja ruuhkautumia, jotka alentavat tien liikenteenvälityskykyä.

Tien liikenteenvälityskyvyn parantamiseksi voidaan nousun kohdalle rakentaa erityisesti hitaita ajoneuvoja varten tarkoitettu liikennekaista, jota tässä yhteydessä nimitetään nousukaistaksi.

Suomessa ei ole toistaiseksi käytössä mitään yleisesti hyväksyttyjä nousukaistojen suunnitteluohjeita. Tämä johtuu osaksi siitä, että meillä vain hyvin harvoilla vilkkaasti liikennöidyillä teillä on pitkiä nousuja. Ne harvat nousukaistat, jotka tähän mennessä ovat osoittautuneet tarpeellisiksi, ovat mitoitettut soveltamalla ulkolaisia ohjeita.

1. NOUSUKAISTAN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDISTA JA TAVOITTEISTA

Ajoneuvon nopeuden pieneneminen nousussa riippuu ensisijaisesti ajoneuvon moottorin tehon ja ajoneuvon painon suhteesta. Tätä suhdetta on käsitelty ulkomaisessa kirjallisuudessa monessa eri yhteydessä, mutta mitään selviä yleissuosituksia ei tiettävästi ole esitetty.

Saksan Liittotasavallassa on valtion toimesta määrätty pienin sallittu ajoneuvon moottorin tehon ja ajoneuvon painon suhde. Tämän suhteen arvo oli vuoden 1969 lopussa 5,5 hv/tonni. Vuoden 1970 alusta lähtien se muuttui 8,0 hv:aan/tonni. Tulevaisuudessa on tarkoitus nostaa vaatimuksia 10 hv:aan/tonni.

Amerikkalaisissa tutkimuksissa on todettu, että kuorma-autolla, jonka teho/paino on 5,5 hv/tonni (400 lb/hp), on tien nousukohdissa tyydyttävät ajo-ominaisuudet. Tällöin 3 %:n nousussa täyteen kuormatulla ajoneuvolla saavutetaan nopeus 24 km/h (15 mph). Teho/paino - suhde on muuttunut USA:ssa käytännössä siten, että se vuonna 1949 oli n. 6 hv/tonni, vuonna 1955 n. 7 hv/tonni ja vuonna 1963 n. 9 hv/tonni. Ajoneuvojen suorituskyky on siis jatkuvasti parantunut.

Suomessa on suoritettu prof. Lylyn johdolla Teknillisessä korkeakoulussa eräitä teoreet-

tisia laskelmia ja tarkasteluja, joiden tarkoituksena on tavallisimpien Suomessa käytössä olevien kuorma-autojen teho/paino - suhteen määrääminen ajoneuvojen ollessa kuormattuina. Tämän suhteen on tutkimuksissa todettu olevan 7,0...10 hv/tonni. Perävaunullisissa ja puoliperävaunullisissa ajoneuvoyhdistelmissä ajoneuvojen moottorin tehon on todettu yleensä olevan 250...295 hv. Ajoneuvoyhdistelmien sallitut kokonaispainot ovat nykyään 30...34,6 tonnia. Uuden ajoneuvoyhdistelmien pituutta koskevan asetuksen muutoksen jälkeen sallittu kokonaispaino muuttuu n. 40 tonniksi. Näiden tietojen perusteella näyttää siltä, että teho/paino - suhde on ennen asetuksen muutosta n. 8 hv/tonni ja muuttuu asetuksen muutoksen jälkeen 7 hv:aan/tonni, mikäli ajoneuvojen moottoreiden tehoa ei nostata.

Tien liikenteenvälityskykyä käsittelevässä kirjassa Highway Capacity Manual vuodelta 1965 on todettu nousukaistojen pääasiallisena tarkoituksena olevan liikenteen joustavuuden säilyttäminen nousun kohdalla samanlaisena kuin muillakin tien osilla. Nousukaistan rakentamista pidetään tarpeellisena silloin, kun liikenneolosuhteet pyritään pitämään määrätyn tason yläpuolella. HCM ei sisällä varsinaisia nousukaistan suunnitteluohjeita, mutta siinä esitetyn aineiston pohjalla on nousukaistan tarve todettavissa seuraavasti:

a) muuntamalla raskaat ajoneuvot tiettyjä nousukertoimia käyttäen henkilöautoyksiköiksi tarkistetaan ylittääkö saatu liikennemäärä (hay/h) ohjeellisen liikenteenvälityskyvyn (HCM, luvut 9 ja 10)

b) tutkimalla raskaan ajoneuvon nopeuden muutosta nousussa ja tarkistamalla täyttääkö nopeus asetetun vaatimuksen (HCM, kuva 5,1)

Kumpaakin menettelytapaa käytetään ulkomaisissa suunnitteluohjeissa.

2. ULKOMAINEN KÄYTÄNTÖ

Nousukaistojen tarpeellisuuden toteaminen ja nousukaistojen mitoitus tapahtuu eri maissa eri tavalla perustuen lähinnä liikenteellisiin näkökohtiin. Menetelmiä tarkasteltaessa kiintyy huomio siihen, ettei liikennetaloudellisia näkökohtia ole minkään maan ohjeissa erityisemmin painotettu.

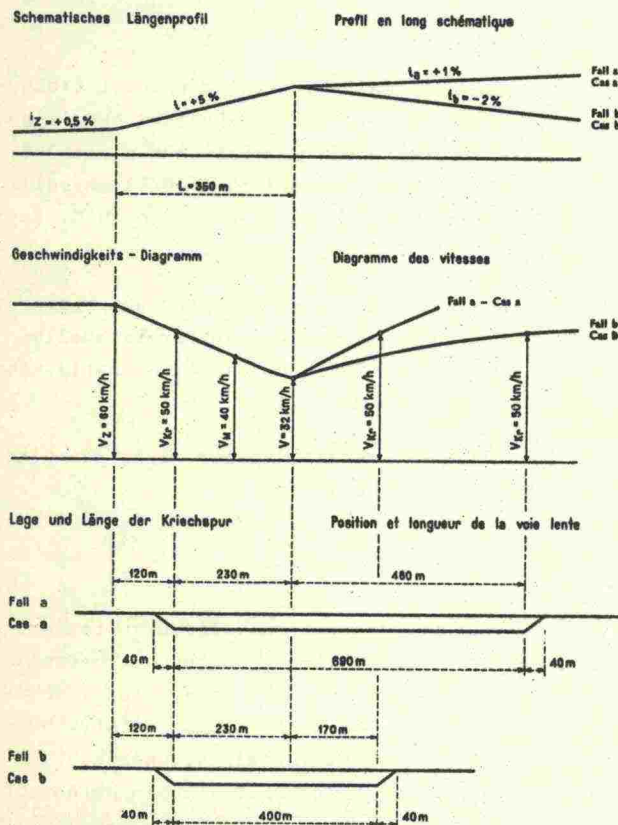
Seuraavassa esitellään lyhyesti Sveitsissä, Saksassa, USA:ssa (AASHO), Ruotsissa ja Norjassa voimassa olevia ohjeita.

2.1 Sveitsi

Nousukaistan tarpeellisuus ja sijainti ratkaistaan mitoittavan ajoneuvon hetkellisen nopeuden perusteella. Nousukaista on tarpeen silloin, kun diagrammista saatu nopeus on alle asetetun minimiarvon, ja se alkaa kohdasta, jossa alitetaan asetettu rajanopeus ja päättyy, kun rajanopeus on jälleen saavutettu. Edellä mainittu miniminopeus vaihtelee 30...40 km/h ja rajanopeus 40...50 km/h tien luokasta riippuen. Liikennemäärien suhteen todetaan nousukaistan tulevan kysymykseen vain teillä, joilla on suurehko liikenne tai mikäli vähäliikenteisen tien raskaiden ajoneuvojen osuus on suuri. Tämän lisäksi korostetaan suuntauksen merkitystä nousujen välttämiseksi. Esimerkki nousukaistan mitoituksesta sveitsiläisten ohjeiden mukaan on esitetty kuvassa 1.

2.2 Saksa

Nousukaistan tarpeellisuus ratkaistaan kapasiteettitarkastelun perusteella siten, että nousun jyrkkyydestä ja pituudesta riippuvien kertoimien avulla muunnettu liikennemäärä (hay/h) ei saa ylittää ohjekapasiteettia. Määrittäytapa perustuu Highway Capacity Manual:iin.



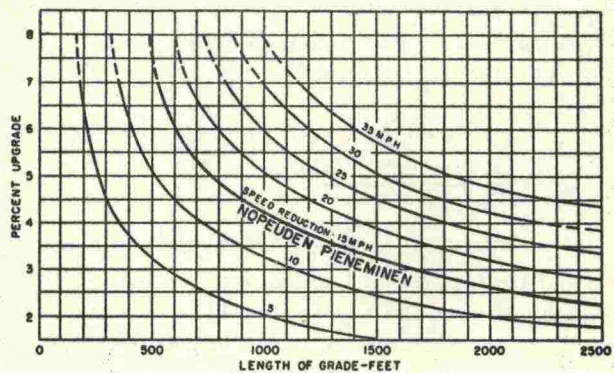
Kuva 1. Esimerkki nousukaistan sijoituksesta Sveitsin normien mukaan.

2.3 USA (AASHO)

Nousukaistan tarpeellisuus määrittään nousun kriittillisen pituuden tai kapasiteettitarkastelun perusteella.

Nousun kriittillisellä pituudella tarkoitetaan matkaa, jolla kuorma-auton nopeus alenee noin 24 km/h (15 mph) alkunopeudestaan (Kuva 2). Kun kriittillinen pituus ylitetään nousukaista on tarpeen edellyttäen kuitenkin, että liikennemäärä ja raskaiden kuorma-autojen osuus tekevät lisäkustannukset oikeutetuiksi.

Kapasiteettitarkastelu tapahtuu annettujen lähtöarvojen avulla samalla periaatteella kuin esim. Highway Capacity Manual'issa. Kuvassa 3 on ohjeisiin sisältyvä taulukko, joka osoittaa milloin nousukaista voi tulla kysymykseen tyypillisellä 2-kaistaisella tiellä. Taulukko on lähinnä elustavaa arviointia varten.



Kuva 2. Nousun kriittinen pituus. Mitoitusajoneuvo on raskas kuorma-auto, jonka tehopainosuhde on 400lb hv (55 hv/to).

Nousu	Nousun pituus		Pienin mitoitusautoliikenne ajon/h			
	%	mailia	m	T = 3	T = 5	T = 10
4	1/3	540	4 kaistaa	4 kaistaa	4 kaistaa	4 kaistaa
	1/2	800	> 700	> 600	> 525	> 450
	3/4	1200	> 750	670	500	390
5	1/3	540	4 kaistaa	> 640	> 550	> 480
	1/2	800	> 690	620	460	370
	3/4	1200	650	540	380	300
6	1/3	540	4 kaistaa	> 625	> 580	480
	1/2	800	570	470	330	250
	3/4	1200	540	430	290	220
7	1/3	540	470	410	310	240
	1/2	800	400	320	210	160
	3/4	1200	380	300	200	150

Kuva 3. Pienimmät liikennemäärät, joilla ryömintäkaista voi tulla kysymykseen 2-kaistaisilla teillä AASHOn ohjeiden mukaan.

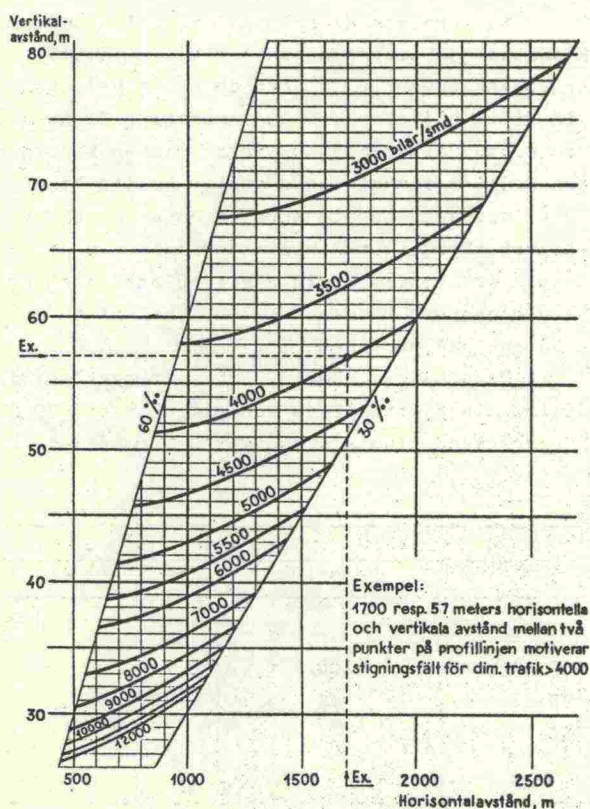
Nousukaistan alkuun suositellaan 45 m pitkää erkanemiskiilaa ja loppuun 60 m pitkää liittymäkiilaa. Kaista alkaa kohdasta, jossa kuorma-auton nopeus laskee alle 48 km/h (30 mph) ja päättyy 60 m sen paikan jälkeen, missä em. nopeus saavutetaan uudelleen tai missä vallitsee riittävä ohitusnäkemä.

Ohjeissa kehoitetaan kukin nousu käsittelemään tarkemmin taulukkoarvojen lisäksi, millä pyrittäneen huomioidaan erilaisia tieolosuhteita ja taloudellisia näkökohtia. Lisäksi korostetaan nousukaistan merkitystä halpana menetelmänä liikenteenvälityskyvyn parantamiseksi ja ratkaisuna, jolla voidaan tästä syystä siirtää uuden tien rakentamisajankohtaa.

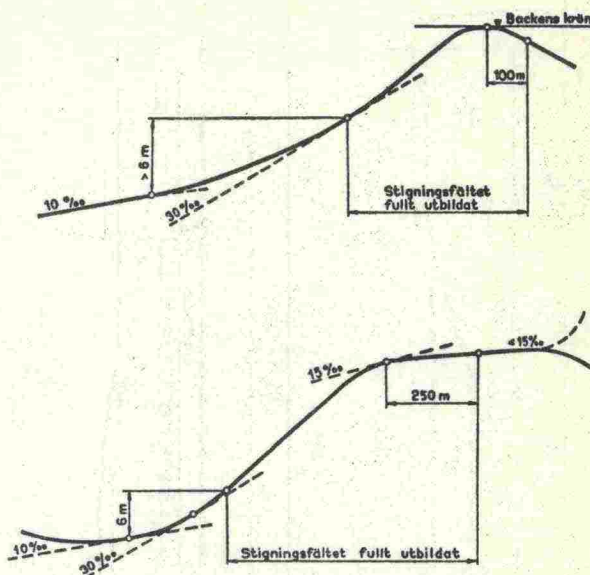
Nousukaistan vähimmäisleveydeksi on annettu 3,05 m (10 ft), mutta suositellaan kuitenkin käytettäväksi leveyttä 3,65 m (12 ft).

2.4 Ruotsi

Nousukaistan tarpeellisuus määritetään kuvassa 4 esitetyn nomogrammin avulla. Nousukaistan sijoitus ilmenee kuvasta 5. Nousukaistan tarkoituksiksi mainitaan ohitusmahdollisuuksien lisääminen liikenteen sujuvuuden parantamiseksi suurissa nousuissa.



Kuva 4. Nousukaistan tarpeellisuuden toteaminen Ruotsin normien mukaan.



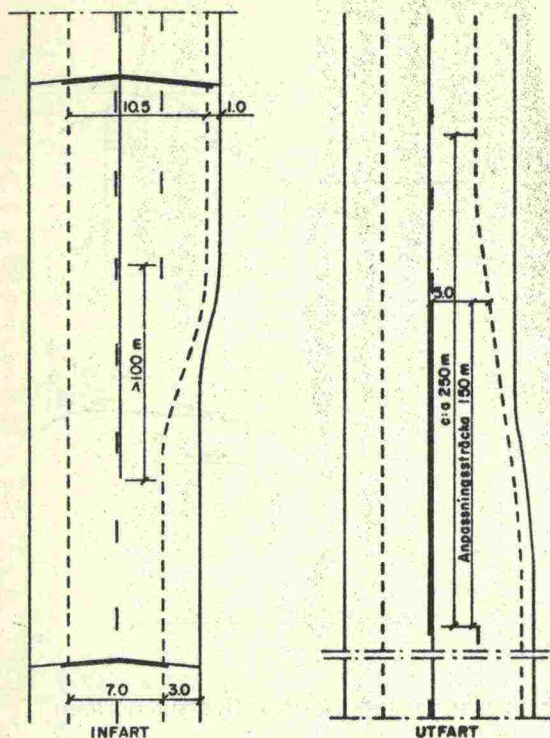
Kuva 5. Nousukaistan sijoitus Ruotsin normien mukaan.

Mitoitusmenetelmä perustuu maastotutkimuksiin, joiden aikana liikennemäärä oli 200...500 ajoneuvoa tunnissa ja kuorma-autoprosentti vaihteli 3...10 %. Tutkimuksissa todettiin hitaitten henkilöautojen vaikutuksen olevan samaa suuruusluokkaa kuin kuorma-autojenkin. Sama seikka voitiin todeta jatkotutkimuksissa, jotka koskivat rakennettuja nousukaistoja.

Tästä syystä ei kuorma-autoprosenttia ole pidetty määräävänä tekijänä kapasiteettia arvioitaessa, vaan on otettu huomioon nousun pituus, paitsi yleensä nopeutta alentavana tekijänä, myös hitaitten ajoneuvojen aiheuttaman häiriön suuruuteen vaikuttavana tekijänä.

Maastotutkimuksissa havaitun liikenteenvälityskyvyn ja ajanhukan perusteella on todellista ajanhukkaa vertailumittana käyttäen suoritettu teoreettisia vertailuja erilaisiin nousuihin eri liikennemäärillä. Näin on saatu suunnittelukapasiteetin (ajon/vrk) ja noususuhteiden välinen yhteys, mitoitusnomogrammi (Kuva 4), joka antaa tien välityskyvyn kahden pisteen välillä niiden horisontaali- ja vertikaaliprojektioiden funktiona. Pisteiden välillä nousun ei tarvitse olla vakio, mutta kaltevuuden on oltava yli 30 %.

Nousukaistan alkamis- ja päättymiskohdan muotoilu on esitetty kuvassa 6. Nousukaistan leveytenä käytetään 3,5 metriä.



Kuva 6. Nousukaistan alkamis- ja päättymiskohdan muotoilu Ruotsin normien mukaan.

2.5 Norja

Nousun haitallisen vaikutuksen eliminomiseksi esitetään vaihtoehtoisina ratkaisuna nousun loiventamista, tielinjan siirtoa, tien muuttamista neliajokaistaiseksi tai nousukaistoja. Asiaan vaikuttavien tekijöiden monilukuisuuden vuoksi ei ohjeissa anneta yleistä sääntöä siitä, mitä ratkaisua kulloinkin tulee käyttää. Kukin tapaus on ratkaistava erikseen laskelmilla, joissa otetaan huomioon ajo-, kunnossapito- ja rakennuskustannukset.

Nousukaistan tarpeellisuuden toteamisessa huomioon otettavat tekijät ovat liikennemäärä, liikenteen koostumus, nousuprosentti ja nousun pituus.

Yleissuunnitteluvaihetta ja alustavia kustannusvertailuja varten on nousukaistan tarpeellisuuden toteamiseksi annettu taulukko 1, josta saadaan suurimmat sallitut nousupituudet ilman nousukaistaa eri mitoitusnopeuksilla ja eri tietyypeille. Nousun kriittilliset pituudet on määrätty käyttäen mitoitusliikenteen arvoa $M \geq 700 \cdot F_n \cdot F_s$ (ajon/h), jossa F_n ja F_s ovat tien leveydestä, sivusteista sekä näkemäolosuhteista johtuvia kertoimia. Kriittillisten pituuksien arvot on laskettu seuraavilla ehdoilla:

- mitoitettava nopeusero on 15 km/h tietyypeillä A ja B ja 20 km/h tietyypeillä C ja D
- raskaan liikenteen alkunopeus oletetaan 10 km/h alhaisemmaksi kuin ajonopeuksien harmoninen keskiarvo (trafikkhastighet)
- raskaan liikenteen osuus oletetaan olevan n. 5...10 % mitoitusliikenteen aikana

Yksityiskohtaisessa suunnittelussa selvitetään nousukaistan tarpeellisuus laskemalla tien käytännöllinen liikenteenvälityskyky mäen päällä. Nousukaista on tarpeellinen, mikäli kapasiteetti on pienempi kuin mitoitusliikenne. Käytännössä kapasiteetin määrittäminen tehdään kuvassa 7 annettuja nomogrammeja käyttäen.

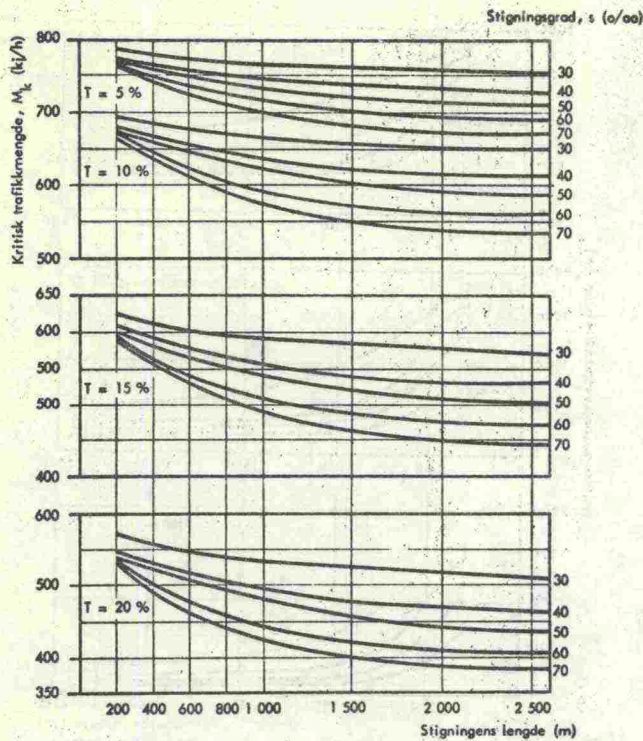
Nousukaista alkaa sillä kohdalla, missä henkilöauton ja kuorma-auton nopeusero ylittää kriittillisen arvon (V_d), joka on A- ja B-luokan teillä 15 km/h ja C- ja D-luokan teillä 20 km/h. Matkaa nousun alusta nousukaistan alkuun sanotaan nousun kriittilliseksi pituudeksi. Kriittilliset pituudet voidaan määrätä kuvan 8 nomogrammeista, joissa eri käyrät tarkoittavat erilaisia nopeusalueita. Kriittillisiä pituuksia määrittäessä on raskaan ajoneuvon teho/paino-suhteeksi oletettu 1 hv/90 kg \approx 11 hv/tonni.

Nousukaista päättyy teoreettisesti sillä kohdalla, missä mitoitettava nopeusero 15 tai 20 km/h verrattuna tien ajonopeuksien harmoniseen kes-

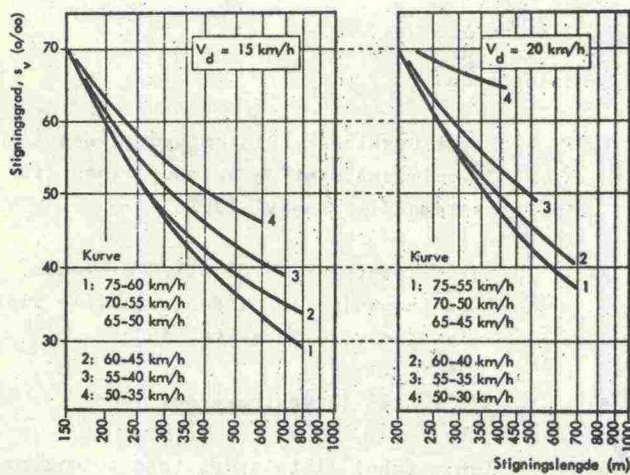
Nousu o/oo	V = 70 km/h	Tietyyppit C ja D		Tietyyppit A ja B	
		80 km/h	90 km/h	80 km/h	100 km/h
30					800
40			700	600	400
50		500	400	300	
60	400	300	250		
70	225				

Taulukko 1

Nousun enimmäispituudet ilman nousukaistaa Norjan normien mukaan



Kuva 7. Nousukaistan tarpeellisuuden toteaminen Norjan normien mukaan.



Kuva 8. Nousun kriittiset pituudet Norjan normien mukaan.

kiarvoon (vegens trafikkhastighet) on uudelleen todettavissa. Nousukaistaa jatketaan käytännössä em. teoreettisesta pääte pisteestä vielä vähintään 60 metriä. Liittymis- ja erkanemiskiila mitoitetaan raskaan liikenteen nopeuden mukaan siten, että kaistan levenemisnopeus on 1,0 m/s.

Nousukaistan leveys on yhtä suuri kuin tien normaali kaistaleveys. Piennar tehdään samoin normaalin pientareen levyiseksi, mutta ei leveämmäksi kuin 0,75 metriä.

3.

EHDOTUS OHJEIDEN PERUSTEIKSI

Nousukaistan tarpeellisuuden toteamista, sen muotoilua ja leveyttä koskevat ohjeet ehdotetaan laadittavaksi seuraavien näkökohtien pohjalta:

- Nousukaistan tarpeellisuuden toteaminen suoritetaan HCM:ssä esitetyn palvelutaso- ja liikenteenvälityskykytarkastelun perusteella. Nousukaistan tarpeellisuus voidaan määrittää kahdella eri tavalla:
 - tarkastelemalla tavoitteena olevan palvelutason säilyvyyttä nousun kohdalla
 - tarkistamalla, ettei tien liikenteenvälityskyky ylitä nousun kohdalla

Tavoitteena olevan palvelutason säilyvyyttä koskeva tarkastelu on suoritettava aina kussakin tapauksessa erikseen ottaen huomioon palvelutason saavuttamista koskevat nopeus- ja liikennemäärävaatimukset. Palvelutason enimmäisliikenne lasketaan kaavasta

$$SV = N \cdot W_L \cdot v/c \cdot T_L \cdot 2000 \quad (1)$$

jossa

- SV = palvelutason enimmäisliikennemäärä (ajon/h)
 N = ajokaistojen lukumäärä yhteen suuntaan
 W_L = ajokaistan leveydestä ja sivusteen etäisyydestä johtuva kerroin
 v/c = liikennemäärä/välityskyky suhde
 T_L = raskaista ajoneuvoista johtuva kerroin

Mikäli tien mitoitusliikenne ylittää kaavasta 1 saadun liikennemäärän tai jos ajonopeudet ovat nousun kohdalla pienemmät kuin ko. palvelutaso edellyttää, on nousukaista tarpeellinen.

Mikäli nousukaistan tarpeellisuus todetaan sen mukaan, ettei liikenteenvälityskyky ylitä nousun kohdalla, suoritetaan tarkastelu vertaamalla mitoitusliikennettä ja liikenteenvälityskykyä toisiinsa. Liikenteenvälityskyky lasketaan kaavalla 2:

$$c = N \cdot W_C \cdot T_C \cdot 2000 \quad (2)$$

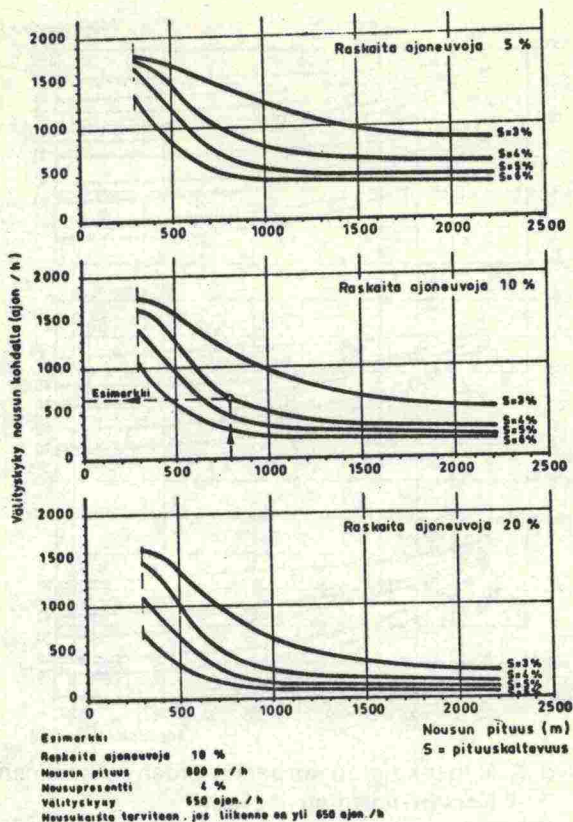
jossa

- c = liikenteenvälityskyky (ajon/h)
 N = ajokaistojen lukumäärä yhteen suuntaan
 W_c = ajokaistan leveydestä ja sivu-esteen etäisyydestä johtuva kerroin
 T_c = raskaista ajoneuvoista johtuva kerroin

Kuvassa 9 on esitetty kaavan 2 perusteella lasketut **nomogrammit** nousukaistan tarpeellisuuden toteamiseksi. Nomogrammien määräämisessä suoritettujen laskelmien on esitetty taulukossa 2. Kertoimesta T_c on huomattava, että sen suuruus määrätään perustuen henkilöautoekivalenttiin (E_T), jonka arvot riippuvat lähinnä nousun pituudesta, pituuskaltevuudesta, kuorma-autojen nopeuden pienenemisestä, jarrutusmatkan pituudesta ja teho/paino-suhteesta. Näin ollen on laskelmissa otettu periaatteessa huomioon samat muuttujat, joiden perusteella todetaan nousukaistojen tarpeellisuus em. ulkomaisissa ohjeissa. Taulukossa 2 olevat kertoimet ovat HCM:n arvoja.

Nousukaistan tarpeellisuuden toteaminen ehdotetaan tehtäväksi siten, että pääteillä käytetään palvelutasokriteeriä ja kokooja- ja yhdysteillä tarkistetaan liikenteenvälityskyvyn ylittyminen.

- b) Nousukaistan pituuden määrääminen sekä alkamis- ja päättymiskiilan muotoilu ehdotetaan tehtäväksi samoin perustein kuin Ruotsin normeissa (Kuva 6).
- c) Nousukaistan leveydeksi ehdotetaan samaa leveyttä kuin tien normaalipoikkeileikkauksen mukaiset ajokaistatkin ovat. Nousukaistan leveyttä ei kuitenkaan ole tarkoituksenmukaista tehdä suuremmaksi kuin 3,5 m, sillä 3,5 m leveä ajokaista on raskaille ajoneuvoille riittävä nopeudessa 70 km/h, jota suurempia nopeuksia ei nousun kohdalla käytettäne.



Kuva 9. Nousukaistan tarpeellisuuden toteaminen

Lähdeluettelo:

- 1) Matti Leskinen: Diplomityö aiheesta "Ryörimiskaistat ja taloudellinen liikenteenvälityskyky" 1967
- 2) Matti Kolhinen: Diplomityö aiheesta "Tien nousujen ja niiden vaatimien lisäkaistojen mitoituksista" 1962
- 3) RIL : Maa- ja vesirakennus 1968
- 4) Tvh:n teknillistaloudellinen toimisto: Ehdotus ohjeiksi ryömintäkaistoista 1962
- 5) Highway Research Board: Highway Capacity Manual 1965
- 6) Statens Vägverk, Ruotsi: Normalbestämmelser för vägars geometriska utformning 1967 ja 1955
- 7) Statens Vegvesen, Norja: Vegnormaler, Geometrisk utforming 1967
- 8) FG: Strassenbau von A-Z 1963

Nousun- pituus (m)	Pituus- kalt. (%)	E_T	T = 5 %		T = 10 %		T = 20 %	
			T_c	c (ajon/h)	T_c	c (ajon/h)	T_c	c (ajon/h)
0	0	2	0,95	1780	0,91	1710	0,83	1560
400	3	2	0,95	1780	0,91	1710	0,83	1560
800	3	7	0,77	1450	0,63	1180	0,45	850
1200	3	14	0,61	1150	0,43	810	0,28	530
1600	3	20	0,51	960	0,34	640	0,21	390
2400	3	26	0,44	830	0,29	550	0,17	320
400	4	3	0,91	1710	0,83	1560	0,71	1330
800	4	20	0,51	960	0,34	640	0,21	390
1200	4	32	0,39	730	0,25	470	0,14	260
1600	4	39	0,35	660	0,21	390	0,11	210
2400	4	44	0,32	600	0,19	360	0,10	190
400	5	7	0,77	1450	0,63	1180	0,45	850
800	5	37	0,36	680	0,22	410	0,12	230
1200	5	47	0,30	560	0,18	340	0,09	170
1600	5	54	0,27	510	0,16	300	0,08	150
2400	5	59	0,25	470	0,15	280	0,08	150
400	6	16	0,57	1070	0,40	750	0,25	470
800	6	54	0,27	510	0,16	300	0,08	150
1200	6	65	0,24	450	0,14	260	0,07	130
1600	6	70	0,22	410	0,13	240	0,07	130
2400	6	75	0,21	390	0,12	230	0,06	110

Taulukko 2

Kuvassa 9 esitettyjen nousukaistan tarpeellisuuden toteamista koskevien nomogrammien laskelmat

A10. AJORADAN LEVENNYS KAARTEESSA

GEOMETRINEN TOIMIKUNTA

	sivu
1. YLEISTÄ	1
2. MITOITUSAJONEUVO	1
2.1 Ajoneuvoryhmät	1
2.2 Kaarrelevennyksen suuruuteen vaikuttavat ajoneuvon ominaisuudet	1
2.3 Ajoneuvomitat ja mittoja koskevan lainsäädännön kehitys	1
2.4 Mitoitusajoneuvoryhmät	2
3. KAARRELEVENNYKSEN SUURUUDEN MÄÄRÄÄMINEN	4
4. EHDOTUS KAARRELEVENNYSTÄ KOSKEVIEN SUUNNITTELUOHJEIDEN LAATIMISEKSI	5

1. Yleistä

Ajoneuvojen tilantarve vaakasuunnassa on suurempi kaarteessa kuin suoralla tien osalla. Tämä johtuu siitä, että kiinteät taka-akselin tai -telin pyörät kulkevat pitkin pienempi-säteistä kaarta kuin kääntyvät etuakselin pyörät. Ohjattava taka-akselisto on hyvin harvinainen ja yleensä erikoisolosuhteiden sanelema ratkaisu. Nykyään onkin teiden suunnittelussa varauduttava ajoneuvojen tilantarpeen lisäykseen kaarteessa eli kaarrelevennykseen.

Kaarrelevennyksen tarpeellisuus otetaan huomioon sekä vapailla tieosilla että taso- ja eritasoliittymissä, pysäköintialueilla, lastauspaikoilla jne. Tässä selvityksessä rajoittautaan kuitenkin tarkastelemaan vapaan tieosan kaarteita.

Koska tvl:n normaalimääräyksissä ja ohjeissa (Kohta 1.1) on käsitelty poikkileikkauksen mitoitusperusteita, ei tässä selvityksessä käsitellä enää niitä tekijöitä, jotka määräävät liikku-ajan ajoneuvon tilantarpeen suoralla tien osalla.

Kaarrelevennyksen voidaan todeta riippuvan lähinnä kahdesta eri tekijästä: kaarresäteestä ja ajoneuvon ulottuvuuksista. Ajoneuvon ulottuvuudet voidaan ottaa huomioon valitsemalla suunnittelun lähtökohdaksi mitoitusajoneuvo. Jäljempänä esitetty mitoitusajoneuvoja koskeva tarkastelu on suoritettu yksinomaan kaarrelevennyksen kannalta.

2. Mitoitusajoneuvo

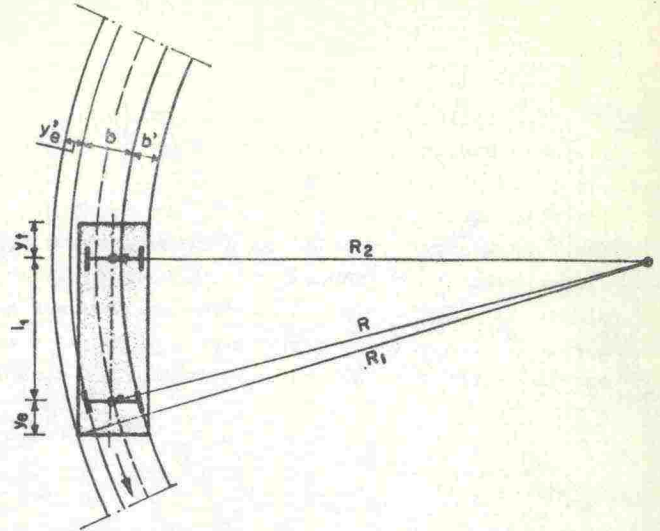
2.1 Ajoneuvoryhmät

Käytännössä esiintyvät ja mitoituksessa kysymykseen tulevat ajoneuvotyypit voidaan jakaa seuraavasti:

- henkilöauto (ha)
- paketti- ja farmariauto (pa)
- pienoiskuorma-auto
- kuorma-auto (ka)
- linja-auto (la)
- kuorma-auto + puoliperävaunu (ka+pp)
- kuorma-auto + täysperävaunu (ka+tpv)

2.2 Kaarrelevennyksen suuruuteen vaikuttavat ajoneuvon ominaisuudet

Kuvassa 1 on esitetty ajouran leveyden muodostuminen kaarteessa sekä siihen vaikuttavat tekijät. Kaarrelevennykseen vaikuttavat ajoneuvon ominaisuudet ovat ajoneuvon leveys, pituus, akselivälit, etu- ja takaylitys, perävaunun kiinnityskohta sekä kääntösäde, joka on riippuvainen osittain edellä mainituista ominaisuuksista.



R = kääntösäde
 b = ajouran leveys suoralla
 b' = ajouran levenemä $= R - R_2$
 y_e = etuylityksestä johtuva riippuma $= R_1 - R + \frac{b}{2}$
 l_a = akseliväli
 y_e = etuylitys
 y_t = takaylitys
 Δb = kaarrelevennys $= b' + y_e$

Kuva 1. Ajoneuvo kaarteessa

Kaarrelevennyksen voidaan kuvan 1 perusteella todeta muodostuvan ajouran levenemästä ja etuylityksestä johtuvasta riippumasta.

2.3 Ajoneuvomitat ja mittoja koskevan lainsäädännön kehitys

Moottoriajoneuvoasetuksessa ja kulkulaitosministeriön päätöksessä sen täytäntöönpanosta annetaan taulukossa 1 esitetyt raja-arvot niille ajoneuvojen mitoille ja ominaisuuksille, jotka vaikuttavat tien geometriseen mitoittamiseen.

Ominaisuus	Ajoneuvo						Ajoneuvo-yhdistelmä	
	ha	pa	la	ka	pp	tpv	ka+pa	ka+tpv
Leveys	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Pituus	11,0	11,0	12,0	11,0	12,0	12,0	15,0	18,0
Etuylitys			2,8				(20,0)	
Takaylitys		3,5	3,6	3,5	3,5	3,5		
Kääntösäde			11,0					

Taulukko 1

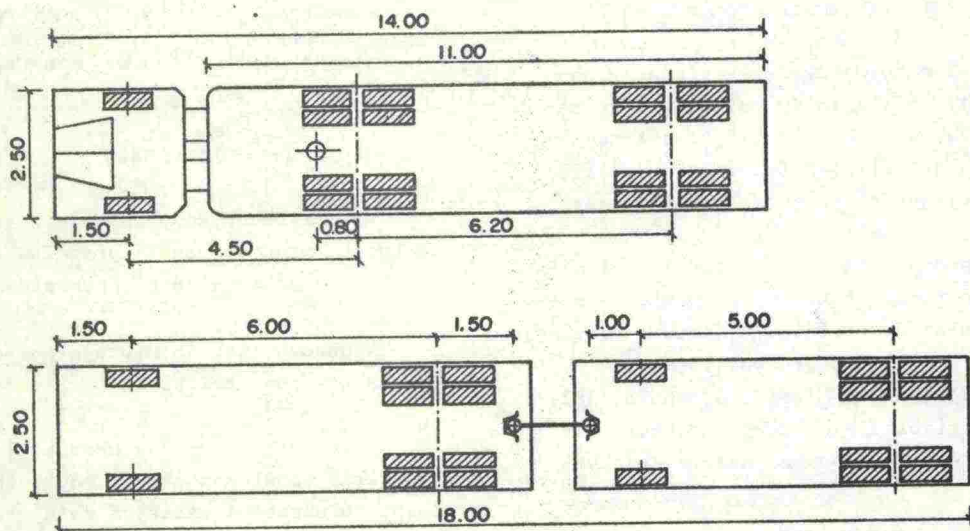
Moottoriajoneuvoasetuksessa ja kulkulaitosministeriön päätöksessä esitetyt ajoneuvojen mitat

Edellä olevassa taulukossa sulkeissa annettu puoliperävaunullisia ajoneuvo-yhdistelmiä koskeva pituusmitta tulee kysymykseen pylväiden tai vastaavan pitkän tavarankuljetuksessa edellyttäen, ettei vetoauton taka-akselin ja perävaunun akselin väli ole suurempi kuin 10 m.

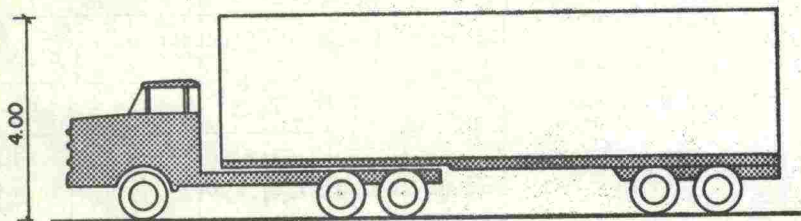
Taulukossa 1 esitetyt ajoneuvomitat ovat voimassa olevan lainsäädännön mukaisia. Moottori-ajoneuvoasetuksen 36 §:ään on tarkoitus tehdä joitakin muutoksia, joista on todettava niiden koskevan täysperävaunullisia ajoneuvoyhdistelmiä. Ajoneuvoyhdistelmistä ovat puoliperävaunulliset ajoneuvot mitoitettavia eikä kysymykseen tuleva asetuksen muutos vaikuta ajoneuvoyhdistelmien perusteella määrättyyn kaarrelevennykseen suurentavasti.

2.4 Mitoitusajoneuvoryhmät

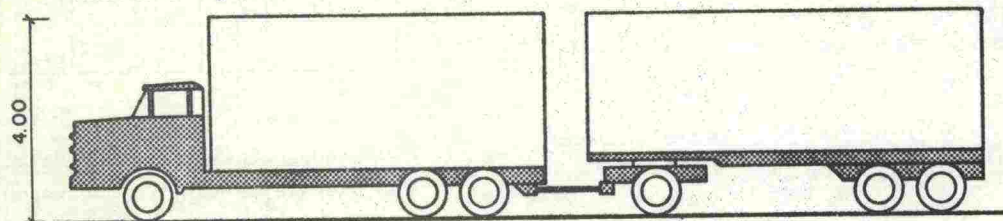
Edellä olevan perusteella voidaan todeta, että käytännössä esiintyy lukuisia ajoneuvotyyppejä, joiden välillä on vielä huomattavia keskinäisiä eroja kunkin tyyppin ajoneuvoissa. Käytännön suunnittelua silmälläpitäen on kysymykseen tulevat ajoneuvolajit ja -yhdistelmät jaettu ominaisuuksiensa puolesta neljään ryhmään. Kullekin ryhmälle on määritetty mitoitusajoneuvo.



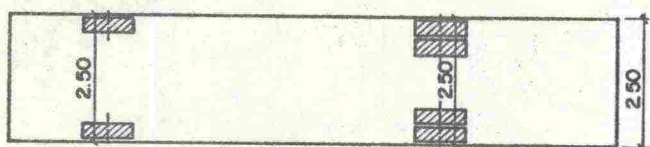
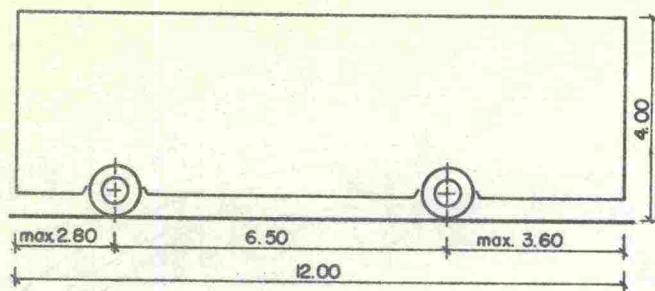
Vetovaunu + puoliperävaunu



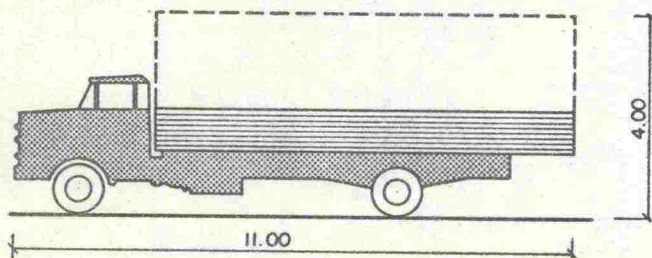
Vetovaunu + täysperävaunu



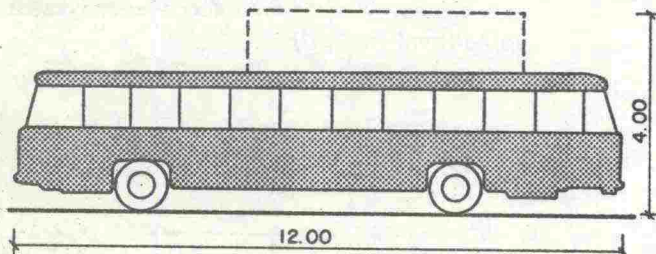
Kuva 2. Mitoitusajoneuvoryhmä I



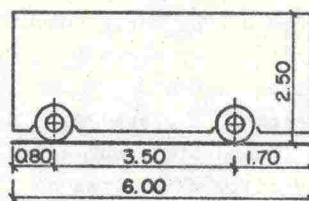
Kuorma-auto



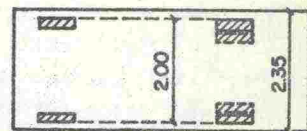
Linja-auto



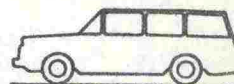
Kuva 3. Mitoitusajoneuvoryhmä II



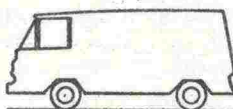
Henkilöauto



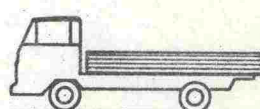
Farmariauto



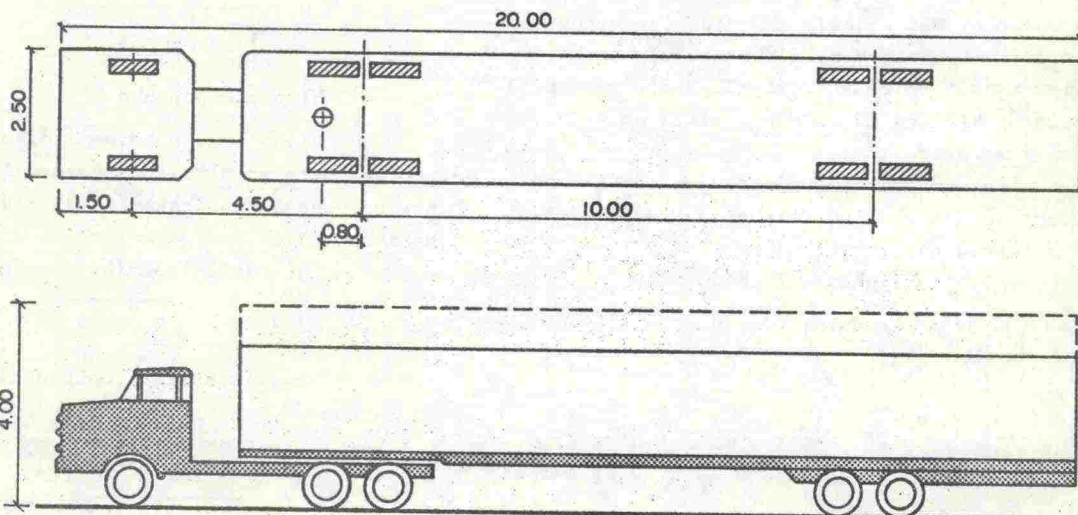
Pakettiauto



Pienoiskuorma-auto tai -bussi



Kuva 4. Mitoitusajoneuvoryhmä III



Kuva 5. Mitoitusajoneuvo IV

Mitoitusajoneuvo I käsittää ajoneuvo-yhdistelmät, jotka on muodostettu joko liittämällä kuorma-autoon puoli- tai täysperävaunu tai traktoriin 2 perävaunu. Pitkän puutavaran tai vastaavan kuljetukseen tarkoitettu ajoneuvoyhdistelmä nk. pylväspuoliperävaunu (moottoriajoneuvo A 36 § 8 d) ei sisälly mitoitusajoneuvoon I, vaan on erillinen poikkeuksellinen ajoneuvo. Mitoitusajoneuvon I mitat on esitetty kuvassa 2.

Mitoitusajoneuvo II käsittää kuorma- ja linja-autot sekä ajoneuvoyhdistelmät, jotka on muodostettu liittämällä traktoriin tai henkilö-autoon varsinainen 1- tai 2-akselinen perävaunu. Mitoitusajoneuvon mitat on esitetty kuvassa 3.

Mitoitusajoneuvo III käsittää henkilö-, farmari-, paketti- ja jakeluautot, pienoishussit ja traktorit. Mitoitusajoneuvon mitat on esitetty kuvassa 4.

Mitoitusajoneuvo IV on poikkeuksellinen mitoitusajoneuvo, johon kuuluu edellisessä kohdassa mainittu pitkän puutavaran tai vastaavan kuljetukseen tarkoitettu kuorma-auton ja nk. pylväspuoliperävaunun yhdistelmä. Mitoitusajoneuvon mitat on esitetty kuvassa 5.

3. Kaarrelevennyksen suuruuden määrittäminen

Kaarrelevennyksen suuruus riippuu mitoitusajoneuvon ohella lähinnä kaarresäteestä. Em. tekijöiden lisäksi kaarrelevennykseen vaikuttaa jossain määrin myös suunnanmuutoskulma, jota ei kuitenkaan levennystä määrittäessä oteta huomioon. Kaarrelevennys lasketaan yleensä olettaen ajoneuvon kulkevan ympyrää, mikä johtaa suurimpaan mahdolliseen levennykseen. Ko. laskentatavasta aiheutuvalle virheelle ei yleensä ole mitään merkitystä, koska lainesäädäntö ei määrittele ajoneuvojen mittoja yksityiskohtaisesti, vaan saman ryhmän ajoneuvoissa saattaa mitoittavissa ominaisuuksissa olla huomattaviakin poikkeamia. Samoin voidaan käytännössä olettaa, että ajoneuvon kääntösäde on saman pituinen kuin tielinjan kaarresäde.

Kaarrelevennyksen mittojen laskeminen voidaan suorittaa eri mitoitusajoneuvoryhmien osalta seuraavasti:

Mitoitusajoneuvo I (Kuva 6)

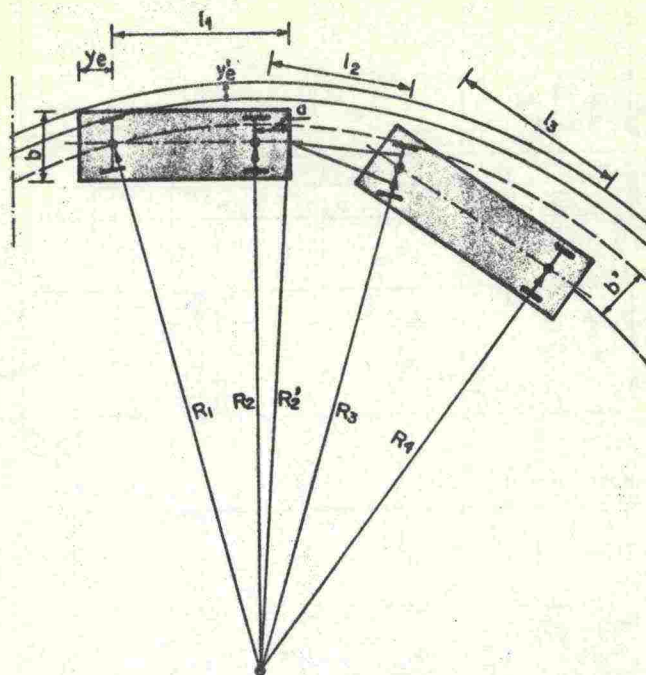
$$\text{Ajouran levenemä } b' = R_1 - R_4 \quad (1)$$

$$R_4^2 = R_3^2 - l_3^2 \quad (2)$$

$$R_3^2 = R_2^2 - (l_2 - a)^2 \quad (3)$$

$$R_2^2 = R_1^2 + a^2 \quad (4)$$

$$R_2^2 = R_1^2 - l_1^2 \quad (5)$$



Kaarrelevennys = $b + y_e$

b' = ajouran levenemä

y_e = etuylityksestä johtuva riippuma

Kuva 6. Kuorma-auton ja täysperävaunun muodostaman ajoneuvoyhdistelmän kaarrelevennykseen vaikuttavat osatekijät

Ratkaisemalla R_4 kaavoista 2, 3, 4 ja 5 R_1 :n, l_1 :n, l_2 :n, l_3 :n ja a :n funktiona ja sijoittamalla se kaavaan 1 saadaan

$$b' = R_1 \sqrt{R_1^2 - l_1^2 - l_2^2 - l_3^2 + 2a \cdot l_2} \quad (6)$$

Etuylityksestä johtuva riippuma

$$y_e' = \frac{\sqrt{(R_2 + \frac{b}{2})^2 + (l_1 + y_e')^2} - \sqrt{(R_2 + \frac{b}{2})^2 + l_1^2}}{2} \quad (7)$$

Mitoitusajoneuvo II

Aivan samoin kuin mitoitusajoneuvo I:n suhteen voidaan mitoitusajoneuvo II:lle johtaa kaarrelevennyksen laskemiseksi kaavat suorakulmaisten kolmioiden perusteella.

Ajouran levenemäksi saadaan

$$b' = R_1 - \sqrt{R_1^2 - l_1^2} \quad (8)$$

Etuylityksestä johtuvaksi levennykseksi saadaan

$$y_e' = \frac{\sqrt{(R_2 + \frac{b}{2})^2 + (l_1 + y_e')^2} - \sqrt{(R_2 + \frac{b}{2})^2 + l_1^2}}{2} \quad (7)$$

Ajoradan kaarrelevennys on ajouran levenemän ja etuylityksestä johtuvan riippuman summa.

Mitoitusajoneuvo III

Kaavat 8 ja 7 sopivat myös mitoitusajoneuvo III:n kaarrelevennyksen laskemiseen, koska kaavojen muoto on riippuvainen akselien lukumäärästä, joka ko. ajoneuvoryhmillä on sama.

Mitoitusajoneuvo IV

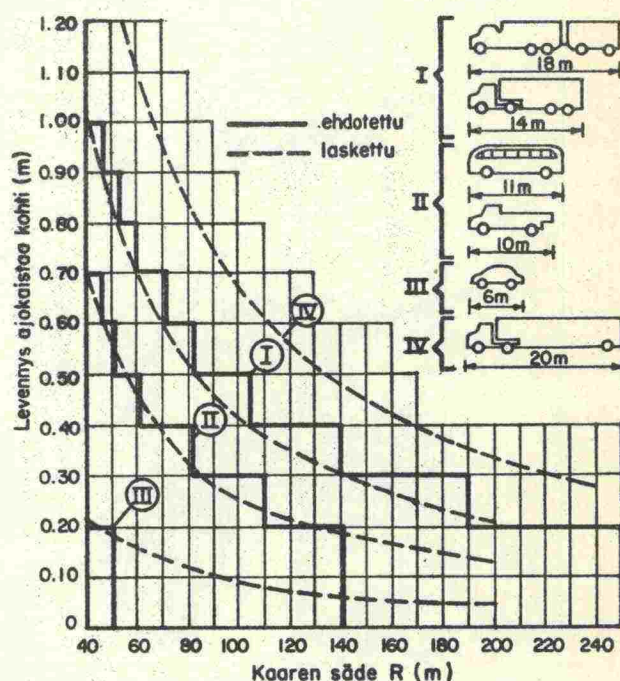
Mitoitusajoneuvon IV vaatima kaarrelevennys voidaan laskea mitoitusajoneuvo I:n kaavoilla 6 ja 7. Vetoauton taka-akselin väli ja perävaunun akselin väli l_2 on tällöin 10 m.

4. Ehdotus kaarrelevennystä koskevien suunnitteluohjeiden laatimis-perusteiksi

Kaarrelevennyksen suuruuden määrittäminen ehdotetaan suoritettavaksi kaarresäteen perusteella ottaen huomioon mitoitusajoneuvoryhmät I II ja III. Poikkeuksellinen mitoitusajoneuvoryhmä IV voitaneen tien poikkileikkauksen leveyttä suunniteltaessa jättää yleensä huomioonottamatta harvinaisuutensa vuoksi. Tämän tyyppiset ajoneuvoyhdistelmät voivat kaarteissa käyttää osaksi vastakkaiselle liikenteelle tarkoitettua ajokaistaa. Liikenteellisesti tärkeiden liittymien suunnittelussa liian syytä ottaa huomioon myös tällaiset ajoneuvot. Levennyksen arvot ehdotetaan määrittäväksi kuvan 7 nomogrammista, johon on piirretty sekä ehdotetut että lasketut arvot. Lasketut arvot on saatu kaavoista 6, 7 ja 8. Kuten edellä kohdassa 3 on mainittu, saattavat ko. kaavoilla lasketut arvot olla oletetusta täydestä kääntymiskulmasta johtuen hiukan ylimitoitettuja. On kuitenkin huomattava että ajoneuvojen rakenteelliset erot voivat aiheuttaa kaarrelevennyksessä suuriakin vaihteluja.

Mitoitusajoneuvon valinta tapahtuu siten, että yleisten teiden suunnittelu suoritetaan yleensä perustuen mitoitusajoneuvoryhmään I. Jos tien liikenne muodostuu poikkeuksellisesti pelkästään määrätystä ajoneuvoryhmästä, kuten esim. linja-autoista, suoritetaan tien mitoitus tällöin ko. ajoneuvoryhmän perusteella.

Kaarrelevennys lisätään yleensä ajoradan kumpaankin reunaan ja poikkeuksellisesti, esim. tilanpuutteen vuoksi, se voidaan lisätä ajoradan toiseen reunaan. Levennyksen tasointa suoritetaan riittävän pitkällä matkalla samoin kuin muidenkin leveyden muutoksien tasointa.



Kuva 7. Ajokaistan levennys tielinjan pienisäteisessä kaarteissa.

A11. SIVU- JA VIETTOKALTEVUUS

GEOMETRINEN TOIMIKUNTA

	sivu
1. YLEISTÄ	1
2. AJORADAN SIVU- JA VIETTOKALTEVUUDEN RIIPPUVUUS ERI TEKIJÖISTÄ	1
2.1 Ajodynaamiset näkökohdat	1
2.2 Kuivatusteknilliset näkökohdat	3
3. AJORADAN SIVUKALTEVUUDEN MUUTOKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	3
3.1 Ajodynaamiset näkökohdat	3
3.2 Kuivatusteknilliset näkökohdat	5
3.3 Optiset näkökohdat	6
4. ULKOMAISET NORMIT	6
4.1 Ruotsi	6
4.2 Norja	8
4.3 Länsi-Saksa	10
4.4 USA	12
5. EHDOTUS OHJEIKSI	14
5.1 Ajoradan sivu- ja viettokaltevuu- dun määrääminen	14
5.2 Ajoradan sivukaltevuu- den muutokset	17
LÄHDELUETTELO	19

1. YLEISTÄ

Ajoradan sivukaltevuudella tarkoitetaan ajoradan kaltevuutta tielinjaa vastaan kohtisuorassa tasossa. Sivukaltevuuden suuruus voidaan ilmaista prosenttilukuna, desimaalilukuna tai kahden luvun suhteena.

Tielinjan kaarteessa on sivukaltevuus tarpeen sekä keskipakoisvoiman kumoamiseksi sivukitkan vaikutuksen ylittävältä osalta että sadeveden poistamiseksi tien pinnalta. Tielinjan suoralla osalla sivukaltevuus on tarpeen lähinnä kuivatusteknillisistä syistä.

Ajoradan viettokaltevuudella tarkoitetaan sivu- ja pituuskaltevuuden geometrista summaa eli vektorisummaa.

Viettokaltevuuteen kiinnitetään huomiota suunniteltaessa tien pinnan kuivatusta sekä tarkasteltaessa ajoneuvon liukumisvaaraa talviolosuhteissa.

2. AJORADAN SIVU- JA VIETTOKALTEVUUDEN RIIPPUVUUS ERI TEKIJÖISTÄ

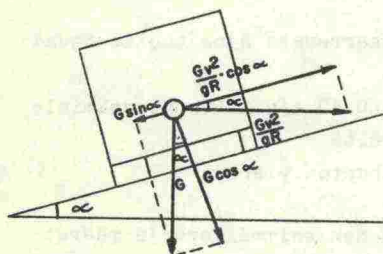
Tietä suunniteltaessa määrätään ajoradan sivu- ja viettokaltevuus ottaen huomioon sekä ajodynaamiset että kuivatusteknilliset näkökohdat.

2.1 Ajodynaamiset näkökohdat

Ajoneuvoon vaikuttavat kuvassa 1 esitetyt sivu- ja pystysuuntaiset voimat, joista voidaan muodostaa seuraavat tasapainoyhtälöt:

$$\frac{G}{g} \frac{v^2}{R} \cos \alpha - G \sin \alpha = \pm f N \quad (1)$$

$$N = G \cos \alpha + \frac{G}{g} \frac{v^2}{R} \sin \alpha \quad (2)$$



Kuva 1

G = ajoneuvon paino (kp)
g = maan vetovoiman kiihtyvyyss (m/s²)
v = ajoneuvon nopeus kaarteessa (m/s)
R = kaarresäde (m)
f = sivukitkakerto (-)
 α = ajoradan sivukaltevuuskulma (q)

Sijoittamalla N yhtälöstä 2 yhtälöön 1 saadaan

$$\frac{G}{g} \frac{v^2}{R} \cos \alpha - G \sin \alpha = \pm f \left(G \cos \alpha + \frac{G}{g} \frac{v^2}{R} \sin \alpha \right) \quad (3)$$

Jakamalla G:llä ja $\cos \alpha$:lla ja merkitsemällä $\tan \alpha = q$ = sivukaltevuus, saadaan

$$\frac{v^2}{g R} - q = \pm f \cdot \left(1 + \frac{v^2}{g R} \cdot q \right) \quad (4)$$

Yhtälöä 4 ei kannata ratkaista q:n suhteen käytännön tarpeita silmällä pitäen ennen likimääräistystä

$$\frac{v^2}{g R} \cdot q \approx 0$$

Ko. oletamus voidaan tehdä, sillä pois jätettävä lauseke on kertaluokaltaan pienempi kuin muut termit. Em. likimääräistysten jälkeen saadaan kaava 4 muotoon

$$q = \frac{v^2}{g R} \pm f \quad (5)$$

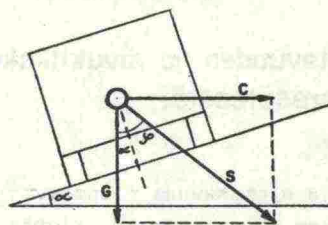
joka saa laadutettuna muodon

$$q = \frac{v^2}{127 R} \pm f \quad (5a)$$

kun V = nopeus (km/h)

g = 9,81 (m/s²)

R = säde (m)



Kuva 2

Kuvaan 2 merkityistä voimista saadaan seuraavat tasapainoyhtälöt

$$f \cdot N = S \cdot \sin \varphi \quad (6)$$

$$N = S \cdot \cos \varphi \quad (7)$$

Kun N sijoitetaan yhtälöön 6 ja jaetaan se puolittain ($S \cdot \cos \varphi$):lla saadaan $f = \tan \varphi$. Toisin sanoen $\tan \varphi$ on sama kuin määrättyllä nopeudella ja sivukaltevuudella tarvittava sivukitkakerto.

Kuvaan 2 merkittyjen voimien perusteella voidaan muodostaa seuraava yhtälö

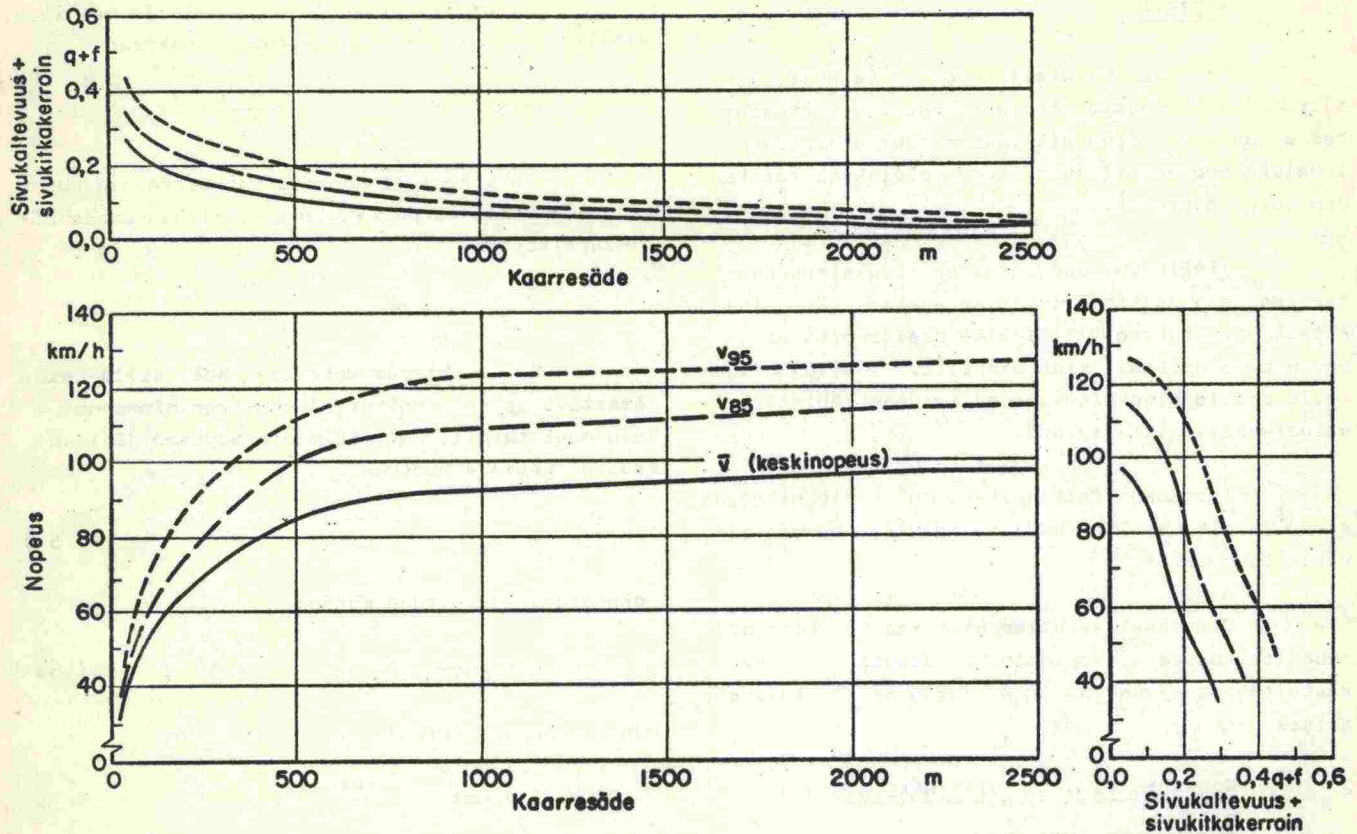
$$\frac{C}{G} = \tan (\alpha + \varphi) \quad (8)$$

Kun kaavaan 8 sijoitetaan $C = \frac{G}{g} \frac{v^2}{R}$ ja $\tan (\alpha + \varphi) = \frac{\tan \alpha + \tan \varphi}{1 - \tan \alpha \cdot \tan \varphi}$, saadaan

$$\frac{v^2}{g R} = \frac{\tan \alpha + \tan \varphi}{1 - \tan \alpha \cdot \tan \varphi} \quad (9)$$

Ottamalla huomioon, että $\tan \alpha = q$, $\tan \varphi = f$ ja $\tan \alpha \cdot \tan \varphi = q \cdot f \approx 0$, saadaan

$$\frac{v^2}{g R} = q + f \quad (10)$$



Kuva 3. Sivukaltevuuden ja sivukitkakertoimen (q+f) riippuvuus ajonopeudesta ja kaarresäteestä.

Ajoturvallisuus ja ajomukavuus riippuvat mm. ajonopeudesta, tielinjan kaarevuudesta, ajoradan sivukaltevuudesta sekä kitkakertoimen arvosta.

Kuvassa 3 on esitetty nopeustutkimuksissa saatuja tuloksia, joiden perusteella on piirretty myös sivukaltevuuden ja sivukitkakertoimen summaa (q + f) osoittavat diagrammit. Tämän tutkimuksen tuloksia tarkastellaan lähemmin kohdassa A 8.

Ajoturvallisuutta voidaan ajonopeudesta, kaarresäteestä, ajoradan sivukaltevuudesta ja sivukertoimen arvosta riippuen tarkastella seuraavien tapausten kannalta:

- mikäli sivukaltevuus on pienempi kuin ajodynaaminen peruskaava osoittaa, aiheutuu tästä ajoneuvon suistuminen ulkokaarteeseen puolelle
- jos sivukaltevuus on suurempi kuin ajodynaamisesta peruskaavasta saatu arvo, aiheutuu tästä ajoneuvon liukuminen sisäkaarteeseen puolelle

Käytännössä kysymykseen tulevissa tapauksissa voivat edellä kuvatut ajoneuvon liukumismahdollisuudet ilmetä yleensä vain talviolosuhteissa, jolloin sivukitkakertoimen arvo on pieni. Ajoneuvon liukumisen ulkokaarteeseen puolelle aiheutta-

vat yleensä liukkaissa olosuhteissa pieni sivukaltevuus tai ulospäin kalteva ajorata. Ajoneuvon liukuminen sisäkaarteeseen puolelle ilmenee yleensä liukkaissa talviolosuhteissa silloin kun ajoradalla on suuri sivukaltevuus ja ajoneuvon nopeus on pieni tai ajoneuvo on pysähtynyt.

Ajomukavuuden ilmaisijana voidaan käyttää kuvaan 2 merkityn kulman φ tangenttia seuraavalla tavalla:

- $\tan \varphi < 0,05$ kaarteessa ajoa tuskin havaitaan
- $\tan \varphi = 0,05 \dots 0,10$ ajo ei tunnu epämiellyttävältä
- $\tan \varphi = 0,30$ ehdoton yläraja

Viettokaltevouden enimmäisarvoja määrittäessä on ajodynaamikan kannalta otettava huomioon ajoneuvon liukumisvaara talviolosuhteissa. Ajoneuvon liukumisen kannalta tarkastellaan pysähtynyttä ajoneuvoa.

Viettokaltevuus on määritelmänsä mukaan

$$p = \sqrt{q^2 + s^2} \quad (11)$$

- jossa
- p = viettokaltevuus (-)
 - q = sivukaltevuus (-)
 - s = pituuskaltevuus (-)

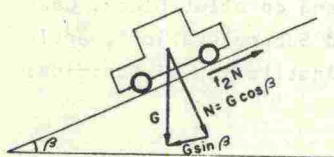
Kun tarkastellaan pysähtynyttä ajoneuvoa, voidaan kaavaan 5 merkitä $v = 0$, josta saadaan $q = \pm f_1$. Kuvassa 4 esitettyjä merkintöjä käyttäen saadaan seuraavat yhtälöt

$$f_2 \cdot N = G \cdot \sin \beta \quad (12)$$

$$N = G \cdot \cos \beta \quad (13)$$

joista saadaan jakamalla puolittain

$$f_2 = \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \tan \beta = s \quad (14)$$



G = ajoneuvon paino (Kp)
 f_2 = kitkakerroin (-)
 β = tien pituuskaltevuuskulma (s)

Kuva 4

Edellä johdetun mukaisesti on pysähtyneen auton ollessa kysymyksessä siihen vaikuttavan kitkan oltava yhtä suuri kuin sivukaltevuus, jos pituuskaltevuus on nolla ja päinvastoin. Jos sekä sivu- että pituuskaltevuus ovat eri suuria kuin nolla, saadaan

$$\sqrt{f_1^2 + f_2^2} = \sqrt{q^2 + s^2} \quad (16)$$

josta saadaan

$$f = \sqrt{q^2 + s^2} \quad (17)$$

Vertaamalla yhtälöitä 11 ja 17 keskenään voidaan todeta, että pysähtynyt ajoneuvo ei lähde liukumaan, jos viettokaltevuus ei ylitä täysin kehittyneen lepokitkan kitkakerrointa.

2.2 Kuivatusteknilliset näkökohdat

Ajoradan sivukaltevuus on tarpeen suoralta tien osalla kuivatusteknillisistä syistä. Samoin tielinjan kaarteissa määräytyy sivukaltevuuden vähimmäisarvo sen mukaan, että sade- tai sulamisvedet poistuvat tien pinnalta riittävän nopeasti.

Pintavesien virtaamisnopeus pois ajoradalta on riippuvainen sivukaltevuuden lisäksi myös pituuskaltevuudesta ja niiden yhteisvaikutuksena viettokaltevuudesta. Etenkin niissä tapauksissa, jolloin ajoradan reunassa on reunakivi ja sivukaltevuus on reunakiveen päin, on ajoradan kuivana pysyminen riippuvainen viettokaltevuudesta.

Kuivatuksen kannalta tulisi sivu- ja viettokaltevuuden olla mahdollisimman suuria. Määrättäessä sivu- ja viettokaltevuuden vähimmäisarvoja kuivatusteknillisten näkökohtien perusteella tulee ottaa huomioon päällysteen laatu siten, että mitä karkeampi on päällysteen laatu, sitä suurempi on veden pois johtamiseksi tarvittava vähimmäissivukaltevuus.

Sivukaltevuuden riippuvuutta kuivatusteknillisistä näkökohdista on käsitelty seikkaperäisesti normaalimääräysten ja ohjeiden kohdassa IV3 "Kuivatuksen suunnittelu".

3. AJORADAN SIVUKALTEVUUDEN MUUTOKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Ajoradan sivukaltevuutta muutetaan yleensä ajodynaamisista syistä tien kaarevuuden muuttuessa. Sivukaltevuus voi muuttua suunnaltaan ja suuruudeltaan seuraavilla tavoilla:

- sivukaltevuus muuttuu kaksipuolisesta yksipuoliseksi kaltevuudeksi
- yksipuolisen sivukaltevuuden suuruus muuttuu
- yksipuolinen sivukaltevuus muuttuu toiseen suuntaan yksipuoliseksi kaltevuudeksi

Ajoradan sivukaltevuuden muutosnopeus määrätään ottaen huomioon ajodynaamiset ja kuivatusteknilliset näkökohdat.

3.1 Ajodynaamiset näkökohdat

Sivukaltevuuden muutoksen tulisi ajodynamiikan kannalta tapahtua siten, että sivukaltevuuden avulla kumottava osuus keskipakoisvoimasta pysyisi koko muutosmatkalla samana. Toisaalta sivukaltevuuden muutos ei saisi tapahtua niin nopeasti, että se aiheuttaisi epämiellyttävältä tuntuvan ajoneuvon pituussuuntaisen akselin suhteen tapahtuvan kiertoliikkeen. Sivukaltevuuden muutoksen suunnittelussa on jälkimmäinen näkökohta ajodynaamisessa mielessä yleensä määräävä. Ko. näkökohta voidaan suoraan rinnastaa niihin vaatimuksiin, joita esitetään sivukiihtyvyyden (keskipakoisvoiman) muutoksesta ja sen nopeudesta.

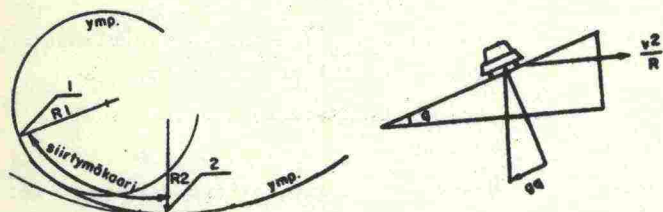
Sivukaltevuuden muutosta tarkastellaan ajodynaamisessa mielessä yleensä sivukiihtyvyyden kannalta. Kun sivukaltevuuden muutosalueella käytetään siirtymäkaarta, voidaan sivukiihtyvyyden hyppäksellinen muutos välttää. Em. näkökohta on siirtymäkaaren käytön ajodynaaminen syy ja sitä käytetäänkin eräänä siirtymäkaaren vähimmäisarvon määrittämisperustana.

Sivukaltevuuden muutosnopeuden enimmäisarvoa eli sitä lyhintä matkaa, jolla määrätty sivukaltevuuden muutos voi tapahtua, voidaan parhaiten tarkastella selvittämällä ko. muutoskohdassa tarvittavan siirtymäkaaren vähimmäispituus. Siirtymäkaaren ajodynaaminen vähimmäisarvo voidaan laskea asettamalla siirtymäkaaren matkalle tapahtuvalle sivukiihtyvyyden muutokselle raja-arvo.

Ajoneuvoon vaikuttavat sivukaltevalla tieosalla kuvassa 5 esitetyt sivusuuntaiset kiihtyvyydet. Kuvaan 5 merkityissä siirtymäkaaren ja ympyräkaarien rajapisteissä ovat sivukiihtyvyyden arvot

$$c_1 = \frac{v^2}{R_1} - g \cdot q_1 \quad (18)$$

$$c_2 = \frac{v^2}{R_2} - g \cdot q_2 \quad (19)$$



Kuva 5 Ajoneuvoon vaikuttavat sivusuuntaiset kiihtyvyydet sivukaltevalla tieosalla

Sivukiihtyvyyksien erotukseksi saadaan vähentämällä kaavasta 18 kaava 19

$$\Delta c = v^2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) - g (q_1 - q_2) \quad (20)$$

Kaavoissa 18, 19 ja 20 olevat kirjainsymbolit tarkoittavat

- c_1 = sivukiihtyvyys pisteessä 1 (m/s^2)
- c_2 = sivukiihtyvyys pisteessä 2 (m/s^2)
- Δc = sivukiihtyvyyksien erotus = $c_1 - c_2$
- v = ajonopeus (m/s)
- R_1 = kaarresäde pisteessä 1 (m)
- R_2 = kaarresäde pisteessä 2 (m)
- g = maan vetovoiman kiihtyvyys (m/s^2)
- q_1 = sivukaltevuus pisteessä 1 (-)
- q_2 = sivukaltevuus pisteessä 2 (-)

Kun siirtymäkaaren pituutta merkitään $L(m)$, sivukiihtyvyyden muutosta aikayksikköä kohden $C (m/s^3)$ sekä siirtymäkaaren kulkemiseen kuluva aikaa t_L , saadaan ko. suureiden määritelmien mukaan

$$L = v \cdot t_L \quad (21)$$

$$C = \frac{\Delta c}{t_L} \quad (22)$$

$$t_L = \frac{\Delta c}{C} \quad (23)$$

Kaavoista 21 ja 23 saadaan

$$L = v \cdot \frac{\Delta c}{C} \quad (24)$$

Kun kaavaan 24 sijoitetaan Δc in arvo kaavasta 20, saadaan siirtymäkaaren vähimmäispituudelle laskukaava

$$L = \frac{v^3}{C} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) - \frac{vg}{C} (q_1 - q_2) \quad (25)$$

Kaavasta 25 voidaan siirtymäkaaren pituus ratkaista kaikissa tapauksissa, kun sovitaan sallitun sivukiihtyvyyden muutoksen suuruus.

Sallitun sivukiihtyvyyden muutoksen raja-arvoja voidaan tarkastella joko kokonaissivukiihtyvyyden tai sen osatekijöiden kannalta. Kaavan 25 sivukiihtyvyyden enimmäisarvoina käytetään yleensä 0,4 tai 0,5 m/s^3 ja sille on esitetty myös taulukon 1 mukaiset kitkasta riippuvat enimmäisarvot. Taulukon 1 lähteenä on ollut Black, Lee-ming: "Road Curvature and Superelevation", artikkeli The Journal of the Institution of Municipal Engineers 71, 1944:5.

Sivukitka (-)	Sivukiihtyvyyden muutos (m/s^3)
0,00	0,38
0,05	0,46
0,10	0,55
0,15	0,66
0,20	0,76
0,25	1,07

Taulukko 1

Sivukiihtyvyyden muutoksen enimmäisarvoja

Kaava 25 voidaan jakaa osatekijöihinsä siten, että ensimmäinen osa

$$\frac{v^3}{C} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

ottaa huomioon kaarevuuden muutoksen ja toinen osa

$$\frac{vg}{C} (q_1 - q_2)$$

sivukaltevuuden muutoksen ajodynaamisen vaikutuksen. Kun tarkastellaan kaavaa 25 pelkkää sivukaltevuuden muutosta silmälläpitäen, saadaan se muotoon

$$L = \frac{vg}{C} (q_1 - q_2) \quad (26)$$

Kaava 26 voidaan ratkaista muotoon

$$\frac{q_1 - q_2}{L} = \frac{C}{vg} \quad (27)$$

Kaavan 27 lauseke $(q_1 - q_2)/L$ ilmaisee sivukaltevuuden muutosnopeuden. Ko. muutosnopeudelle voidaan kaavalla 27 laskea eri mitoitusnopeuksia vastaava enimmäisarvo, kun ensiksi valitaan sivukiihtyvyyden muutoksen enimmäisarvo.

Sivukaltevuuden muutoksesta aiheutuvan sivukiihtyvyyden muutoksen enimmäisarvoina käytetään yleensä 0,3 ja 0,4 m/s^3 . Sivukiihtyvyyden muutosta 0,3 m/s^3 vastaavat sivukaltevuuden muutosnopeudet on esitetty taulukossa 2 ja sivukiihtyvyyden muutosta 0,4 m/s^3 vastaavat sivukaltevuuden muutosnopeudet taulukossa 3. Taulukossa 2

esitettyistä sivukaltevuuden muutosnopeuden arvoista voidaan niiden todeta vastaavan 3 % sivukaltevuuden muutosta sekunnissa, jonka Neumann on esittänyt sivukaltevuuden muutoksen enimmäisnopeudeksi.

Nopeus (km/h)	Sivukaltevuuden muutos
100	1 % / 9,3 m
80	1 % / 7,4 m
60	1 % / 5,6 m
40	1 % / 3,7 m

Taulukko 2

Sivukaltevuuden muutoksen enimmäisarvot, jotka vastaavat sivukiihtyvyyden muutoksen arvoa $0,3 \text{ m/s}^3$

Nopeus (km/h)	Sivukaltevuuden muutos
100	1 % / 6,8 m
80	1 % / 5,4 m
60	1 % / 4,1 m
40	1 % / 2,7 m

Taulukko 3

Sivukaltevuuden muutoksen enimmäisarvot, jotka vastaavat sivukiihtyvyyden muutoksen arvoa $0,4 \text{ m/s}^3$

3.2 Kuivatusteknilliset näkökohdat

Sivukaltevuuden muutoksen suunnittelussa on kuivatusteknillisten näkökohtien kannalta kysymys lähinnä siitä, että sivukaltevuuden muutosalueella on riittävän suuri viettokaltevuus ja etteivät pintavedet valu pituussuunnassa pitkää matkaa tietä pitkin ennen poistumistaan ajoradalta. Koska sivukaltevuus saa niissä muutostapauksissa, joissa kaltevuuden suunta muuttuu, hyvin pieniä arvoja, ovat viettokaltevuuden suuruus sekä veden virtaamismatka riippuvaisia tien pituuskaltevuudesta ja sivukaltevuuden muutoksen nopeudesta.

Tvh:n teknillistaloudellinen toimisto on tutkinut sivukaltevuuden muutosta kuivatusteknilliseltä kannalta tien pituuskaltevuuden funktiona. Em. tutkimusta koskevassa muistiossa (30.5.1964/KH) todetaan, että sivukaltevuuden tulisi muuttua nopeasti lähellä sivukaltevuuden 0-kohtia, jotta

- vesi ei pysähtyisi tien pituuskaltevuuden ollessa pieni
- vesi ei virtaisi pitkällä matkalla tien suunnassa pituuskaltevuuden ollessa suuri

Ko. muistiossa on esitetty kuva 6 sekä taulukot 4 ja 5, joista ilmenee kuinka pitkällä matkalla pintavedet valuvat ajoradalla tien eri

pituuskaltevuuksilla ja sivukaltevuuden erilaisilla muutosnopeuksilla. Muistiossa on esitetty seuraavat sivukaltevuuden muutosnopeuden määrittämisestä koskevat ehdotukset

- matka, jolla tien viettokaltevuus on pienempi kuin 0,5 %, rajoitetaan 20 metriksi
- pintavesien valumismatka rajoitetaan 100 metriksi
- kohdista a ja b johtuen tulee sivukaltevuuden muutosmatkan pituutta rajoittaa sellaisilla tieosilla, joiden pituuskaltevuus on yli 4 % tai pienempi kuin 0,5 %
- muuttumisnopeuden ollessa 1 %/20 m voidaan a ja b kohdan vaatimukset täyttää

Sivukaltevuuden muuttumisnopeus	Tien pituuskaltevuus (%)				
	0,0	0,3	0,4	0,5	0,8
1 % / 10 m	10	10	5	5	0
1 % / 20 m	20	15	10	5	0
1 % / 30 m	30	25	20	10	0
1 % / 40 m	40	30	25	15	0
1 % / 50 m	50	40	30	20	0

Taulukko 4a

Matka (m), jolla tienpinnan viettokaltevuus on pienempi kuin 0,5 %

Sivukaltevuuden muuttumisnopeus	Tien pituuskaltevuus (%)					
	0,0	0,3	0,4	0,5	1,0	1,3
1 % / 10 m	20	20	20	20	15	0
1 % / 20 m	40	35	35	35	20	0
1 % / 30 m	60	55	55	55	25	0
1 % / 40 m	80	75	70	75	25	0
1 % / 50 m	100	95	90	90	30	0

Taulukko 4b

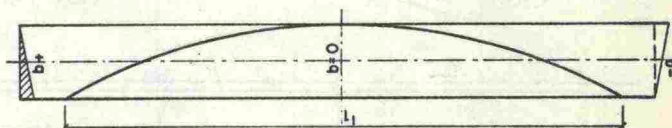
Matka (m), jolla tien pinnan viettokaltevuus on pienempi kuin 1 %

Sivukaltevuuden muuttumisnopeus	Tien pituuskaltevuus (%)						
	0,0	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	2,8
1 % / 10 m	50	50	50	45	40	30	0
1 % / 20 m	100	100	100	100	100	60	0
1 % / 30 m	150	150	150	145	140	90	0
1 % / 40 m	200	200	200	200	185	120	0
1 % / 50 m	250	245	245	240	230	150	0

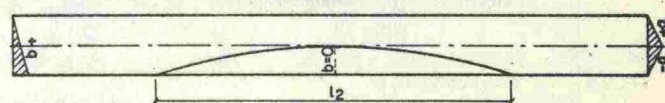
Taulukko 4c

Matka, jolla tien pinnan viettokaltevuus on pienempi kuin 2,5 %

S-kaarteessa



Sivukaltevuuden muuttuessa koksipuolisesta yksipuoliseksi



Kuva 6. Valumamatkan enimmäispituudet l_1 ja l_2

Sivukaltevuuden muuttumisnopeus	Tien pituuskaltevuus (%)								
	0,3	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
1 % / 50 m		35	55	75	90	105	120	130	140
1 % / 40 m		35	50	70	80	95	105	115	120
1 % / 30 m		30	40	60	70	80	90	95	100
1 % / 20 m	20	25	30	50	55	65	75	80	85
1 % / 10 m	10	15	25	35	40	50	55	60	65

Taulukko 5a

Valumamatkan pituus S-kaarteissa l_1 (m)

Sivukaltevuuden muuttumisnopeus	Tien pituuskaltevuus (%)								
	0,3	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
1 % / 50 m		25	40	50	65	75	85	95	100
1 % / 40 m		25	35	45	55	65	75	85	90
1 % / 30 m		20	30	40	50	60	65	75	80
1 % / 20 m		15	25	35	40	50	55	60	75
1 % / 10 m		10	15	25	30	35	40	45	45

Taulukko 5b

Valumamatkan pituus l_2 (m) sivukaltevuuden muuttuessa kaksipuolisesta yksipuoliseksi

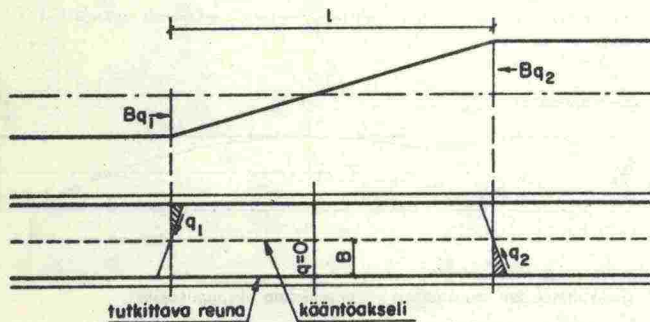
3.3 Optiset näkökohdat

Ajoradan sivukaltevuuden muutokseen liittyviä optisia näkökohtia tarkastellaan yleensä nousuviisteiden avulla.

Nousuviisteellä tarkoitetaan sivukaltevuuden kiertoakselin, joka yleensä on tasausviiva, ja ajoradan reunan pituuskaltevuuksien välistä eroa. Nousuviiste (Δs) voidaan määrittellä kaavan muodossa seuraavasti (kuva 7)

$$\Delta s = \frac{B \cdot (q_1 - q_2)}{L} \quad (28)$$

Optisten näkökohtien kannalta on sitä edullisempaa mitä pitemmällä matkalla sivukaltevuuden muutos suoritetaan. Kun sovitaan nousuviisteiden enimmäisarvot, voidaan kaavalla 28 laskea sivukaltevuuden muutosmatkan optiset vähimmäisarvot.



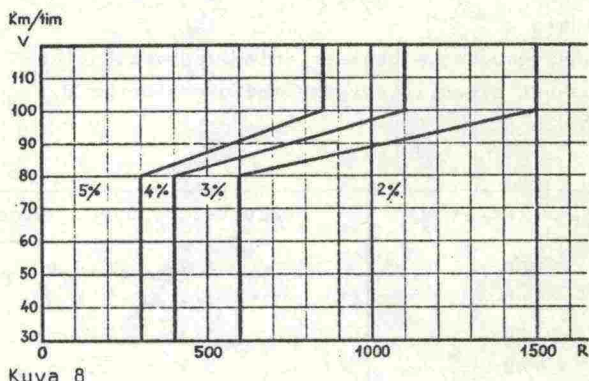
Kuva 7 Nousuviiste

4. ULKOMAISET NORMIT

4.1 Ruotsi

4.11 Ajoradan sivu- ja viettokaltevuus

Ajoradan sivukaltevuus määrätään Ruotsin normeissa ajodynaamisista perusteista kuvassa 8 esitetyn diagrammin perusteella.



Kuva 8

Sivukaltevuuden määrittäminen Ruotsin normien mukaan

Kuvasta 8 voidaan todeta, että sivukaltevuus on vain kaarresäteen funktio nopeuksien ollessa alle 80 km/h tai yli 100 km/h. Nopeusalueella 80...100 km/h sivukaltevuus on sekä nopeuden että kaarresäteen funktio. Mitoitettava nopeus on vähintään ko. tieosan mitoitusnopeuden (ohjennopeuden) suuruinen.

Suoralla tienosalla tehdään kestopäällysteinen tie yleensä 2 %:n sivukaltevuuteen.

Sellaisissa tapauksissa, joissa suuret nopeudet eivät tule kysymykseen, voidaan tie tehdä myös kaarteissa kaksipuolisesti sivukaltevaksi.

Viettokaltevuuden maksimiarvoiksi on määrätty 8 % valtatille (riksvägar) ja pääläsninteille (primära länsvägar) sekä 10 % muille lääninteille (sekundära länsvägar). Viettokaltevuuden minimiarvona pidetään 0,3 %.

4.12 Ajoradan sivukaltevuuden muutokset

Ruotsin normeissa suositellaan ajomukavuus- ja ajoturvallisuussyistä käytettävän siirtymäkaarta suoran ja ympyräkaaren sekä erisäteisten ympyräkaarien välillä. Ajodynaamisten näkökohtien perusteella saadaan siirtymäkaaren vähim-

mäispituus ja -parametri mitoitusnopeuden ja sivukaltevuuden perusteella taulukoista 6 ja 7.

V _{dim} (km/h)	ΣE (%)					
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
120	50	70	100	120	150	170
100	50	50	70	90	110	130
80	50	50	60	80	90	110
60	50	50	50	70	80	90
50	50	50	50	60	70	80

Taulukko 6

Siirtymäkaaren vähimmäispituus mitoitusnopeuden ja sivukaltevuuseron funktiona

V _{dim} (km/h)	ΣE (%)							
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
120	305	290	280	270	260	250	240	235
100	230	220	210	205	200	195	190	185
80	165	160	155	150	145	140	140	135
60	110	105	100	100	95	95	90	90
50	85	80	80	75	75	70	70	70

Taulukko 7

Siirtymäkaaren minimiparametri mitoitusnopeuden ja sivukaltevuuseron funktiona

Sivukaltevuuden muutoksen yhteydessä alitetaan sivukaltevuuden vähimmäisarvo 2 % määrättyllä matkalla sellaisissa tapauksissa, joissa sivukaltevuuden suunta muuttuu. Jotta voidaan välttää sivukaltevuuden vähimmäisarvon alittuminen liian pitkällä matkalla, on kuivatusteknisessä mielessä esitetty, että siirtymäkaaren pituus ei saisi alittaa taulukossa 8 esitettyjä arvoja.

ΣE (%)	L _{max} (m)
2,0	100
3,0	150
4,0	200
5,0	250
6,0	300
7,0	350

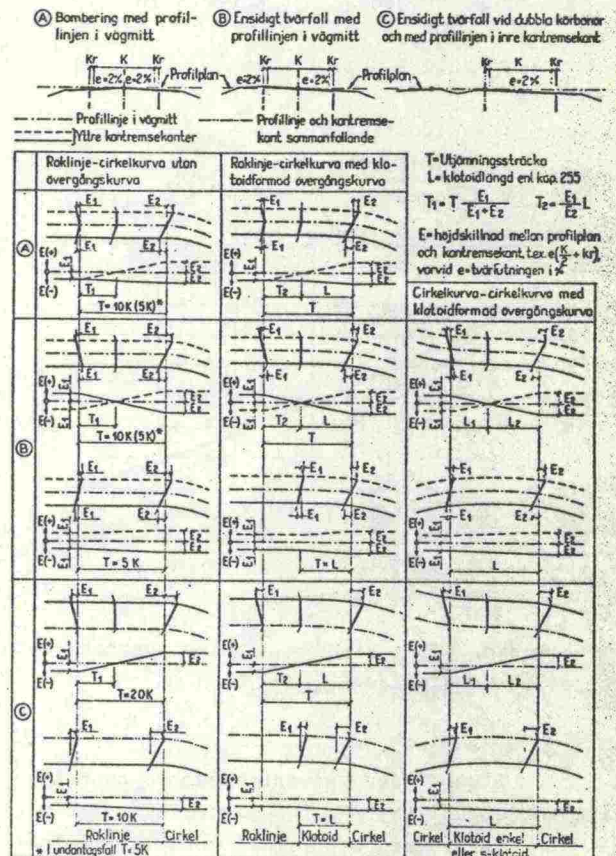
Taulukko 8

Siirtymäkaaren enimmäispituus sivukaltevuuseron funktiona

Tien pituuskaltevuuden pitäisi sivukaltevuuden 0-alueella mahdollisuuksien mukaan olla vähintään 0.3 %.

Sivukaltevuuden muutostavat on esitetty kuvassa 9, josta on huomattava seuraavia näkökoh-
tia :

- sivukaltevuuden muutos suoran-tieosan ja ympyräkaaren välillä, kun siirtymäkaarta ei käytetä, suoritetaan siten, että suoran ja ympyräkaaren yhtymäkohdassa on sivukaltevuudella täysi arvo-
sa
- sivukaltevuuden muutos tapahtuu suora-
viivaisesti siirtymäkaaren matkalla



Kuva 9

Ruotsin normeissa esitetyt sivukaltevuuden muutostavat

4.2 Norja

4.21 Ajoinadan sivu- ja viettokaltevuus

Sivukaltevuuden, sivukitkakertoimen, nopeuden ja kaarresäteen riippuvuus määrätään ajodynaamisella peruskaavalla (kaava 29)

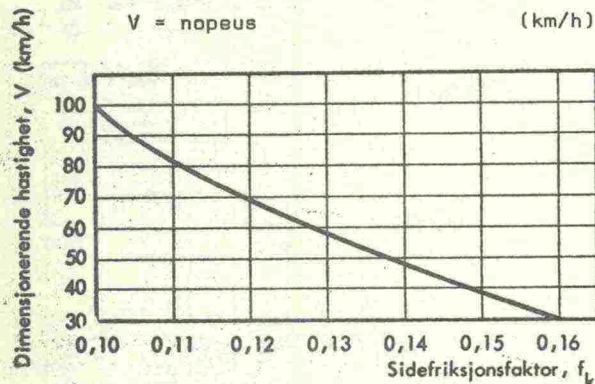
$$e + f_k = \frac{V^2}{127R} \quad (29)$$

jossa e = sivukaltevuus (-)
 f_k = sivukitkakerroin (-)
 V = mitoitettava nopeus (km/h)
 R = kaarresäde (m)

Kaavassa 29 käytettävän sivukitkakertoimen arvo saadaan sekä kaavasta 30 ja kuvasta 10.

$$f_k = 0,21 \frac{V}{140} \quad (30)$$

jossa f_k = sivukitkakerroin (-)
 l = 2,71828
 V = nopeus (km/h)



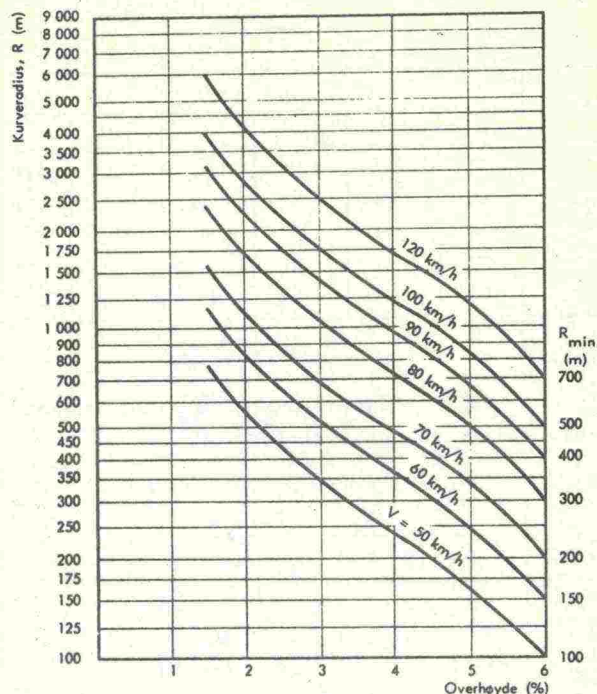
Kuva 10

Sivukitkakertoimen riippuvuus mitoitusnopeudesta Norjan normien mukaan

Sivukaltevuuden enimmäisarvo on 6 % ja sitä käytetään ympyräkaaren minimisäteen yhteydessä. Kun kaarresäde on suurempi kuin vähimmäisarvonsa, saadaan ajoradan sivukaltevuus kaavasta 31.

$$e = 0,12 \cdot \frac{(R_{min})}{R} - 0,06 \cdot \frac{(R_{min})}{R}^2 \quad (31)$$

Käytännön suunnittelua silmällä pitäen on kaava 31 esitetty myös kuvassa 11 olevassa nomogrammin muodossa.



Kuva 11

Sivukaltevuus kaarteissa eri mitoitusnopeuksilla Norjan normien mukaan

Ajorata voidaan kaarteissa tehdä kaksipuolisesti sivukaltevaksi, mikäli kaarresäde on vähintään taulukossa 9 esitetyn mukainen.

Mitoitusnopeus V, (km/h)	Kaarresäteen vähimmäisarvo (m)
30	300
40	500
50	800
60	1200
70	1600
80	2500
90	3000
100	4000
110	5000
120	5500

Taulukko 9

Kaarresäteen vähimmäisarvo eri mitoitusnopeuksilla, mikäli ajorata tehdään kaarteissa kaksipuolisesti sivukaltevaksi.

Suoralla tieosalla riippuu ajoradan sivukaltevuuden suuruus päällysteen laadusta siten, että sivukaltevuus on 1.5...2.5 % betonipäällysteisillä teillä, 2.5...3 % asfalttipäällysteisillä teillä sekä 3...4 % sora- ja öljysorateilla.

4.22 Ajoradan sivukaltevuuden muutokset

Ajoradan sivukaltevuuden muutoskohtaan pyritään yleensä sijoittamaan ajodynaamisista syistä siirtymäkaari, jonka vähimmäispituus määrätään kaavalla 32. Ko. kaava on johdettu käyttäen sallittuna sivukiikityvyyden muutoksena 0.5 m/s^3 ja olettaen sivukiikityvyys siirtymäkaaren alkukohdassa nolaksi.

$$A_{\min} = 0.21 \cdot \sqrt{V^3} \quad (32)$$

jossa A_{\min} = klotoidin parametrin vähimmäisarvo (m)

V = mitoitusnopeus (km/h)

Mikäli siirtymäkaarta ei voida suunnitella niin pitkäksi kuin kaavasta 17 laskettu arvo edellyttää, voidaan osa sivukaltevuuden muutoksesta suorittaa suoralla tien osalla. Tällöin on muutoksen pienin sallittu pituus taulukossa 10 esitetyn mukainen.

$e - e_0$	Mitoitusnopeus (km/h)								
	30	40	50	60	70	80	90	100	120
0,02...0,04	17	22	28	33	36	45	50	56	67
0,06	22	30	38	46	55	60	67	75	96
0,08	30	40	50	62	73	80	89	100	114

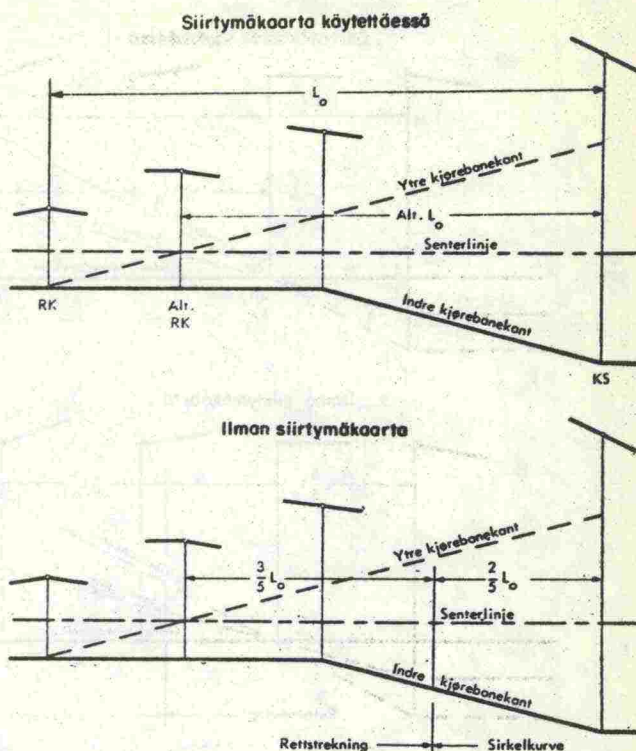
Taulukko 10

Sivukaltevuuden muutosmatkan lyhin sallittu pituus, L_0 , eri mitoitusnopeuksilla ja sivukaltevuuseroilla kun ajoradalla on kaksi ajokaistaa

Taulukossa 10 esitetyt matkat koskevat kaksiajokaistaisia ajoratoja ja mikäli kysymyksessä on useampia ajokaistoja, kerrotaan taulukon 10 arvot seuraavilla vakioilla

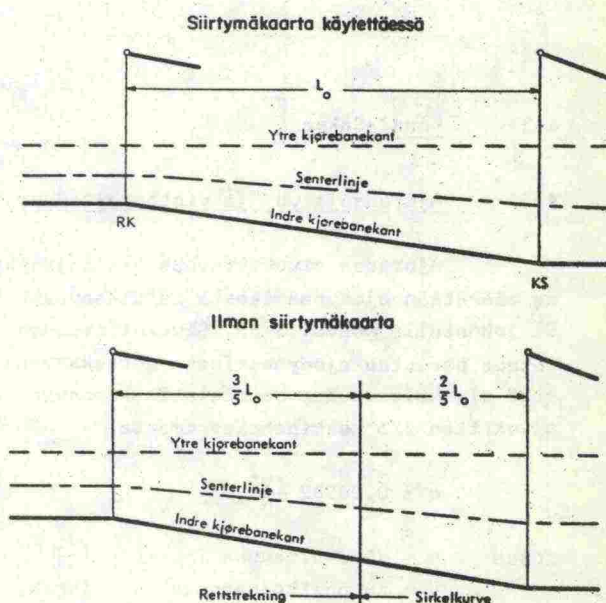
3 ajokaistaa	kerroin 1,19
4 "	" 1,32
5 "	" 1,42
6 "	" 1,52

Sivukaltevuuden muutostavat on esitetty kuvissa 12, 13 ja 14.



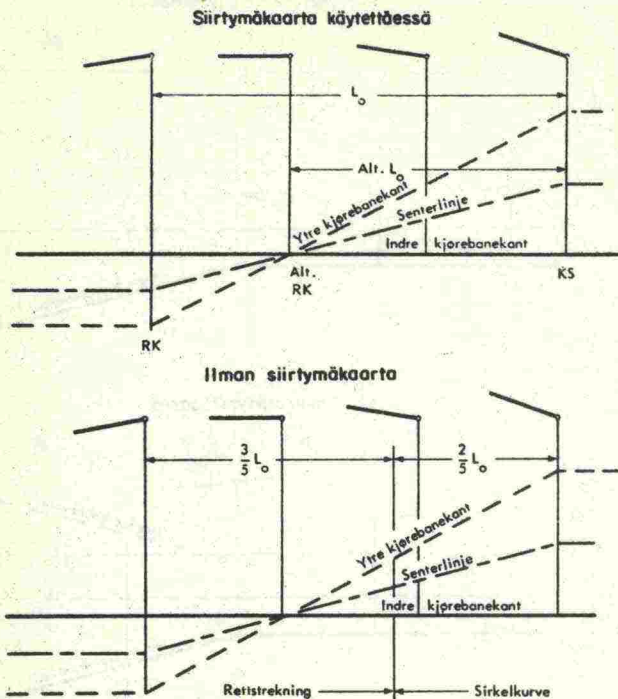
Kuva 12

Sivukaltevuuden muutos kaksipuolisesta kaltevuudesta yksipuoliseksi kaltevuudeksi, kun perusakselina on keskiviiva.



Kuva 13

Sivukaltevuuden muutos neliajokaistaisen keskikaisella varustetun tien sisäkaarteeseen puolella olevalle ajoradalle kun kaltevuuden muutos suoritetaan ajoradan ulkoreunan ympäri.



Kuva 14

Sivukaltevuuden muutos neliajokaistaisen, keski-kaistalla varustetun tien ulkokaarteeseen puolella olevalla ajoradalla, kun kaltevuuden muutos suoritetaan ajoradan sisäreunan ympäri.

4.3 Länsi-Saksa

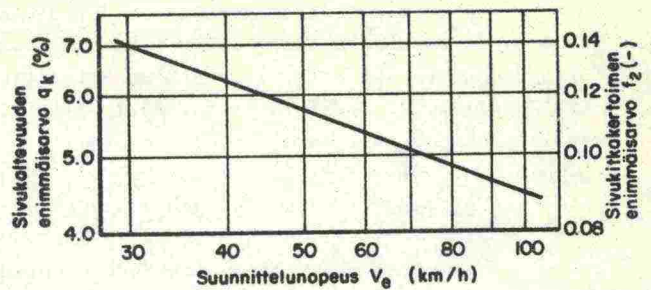
4.31 Ajoradan sivu- ja viettokaltevuus

Ajoradan sivukaltevuus tielinjan kaarteessa määrätään ajodynaamisesta peruskaavasta (kaava 51 johdetulla kaavalla 33. Sivukaltevuuden laskentatapa perustuu ajodynaamiseen peruskaavaan siten, että sivukaltevuuden on oletettu kumoavan 1/3 ja sivukitkan 2/3 keskipakovoimasta.

$$q = 0,00262 \frac{V^2}{R} \quad (33)$$

Jossa q = sivukaltevuus (-)
 V = suunnittelunopeus (km/h)
 R = kaarresäde (m)

Sivukaltevuuden enimmäisarvot eri nopeuksilla ja niitä vastaavat sivukitkakertoimet ilmevät kuvasta 15.



Kuva 15

Sivukaltevuuden enimmäisarvot Saksan normien mukaan

Ajoradan sivukaltevuudet ovat suoralla tienosalla päällysteestä riippuen seuraavat : Betonipäällysteisellä tiellä 1.5 % ja asfalttipäällysteisellä tiellä 2.0 ... 2.5 %.

Ajorata voidaan tehdä kaarteessa kaksipuolisesti sivukaltevaksi, mikäli kaarresäde on suunnittelunopeudesta riippuen vähintään taulukossa 11 esitetyn mukainen.

Suunnittelunopeus V_g (km/h)	Kaarresäde R (m)
60	1500
80	2500
100	4000

Taulukko 11

Kaarresäteen vähimmäisarvot, mikäli ajorata tehdään kaarteessa kaksipuolisesti sivukaltevaksi.

Viettokaltevuuden enimmäisarvoja, jotka on esitetty taulukossa 12, määrättäessä on otettu huomioon ajoneuvojen liukumisvaara liukkaissa talviolosuhteissa.

Suunnittelunopeus V_g (km/h)	Viettokaltevuuden enimmäisarvo P_{max} (%)
30	12,5
40	10,5
50	8,5
60	7,0
80	6,0
100	5,0

Taulukko 12

Viettokaltevuuden enimmäisarvot Saksan normien mukaan

4.32 Ajoinraden sivukaltevuuden muutokset

Sivukaltevuuden muutokset suunnitellaan ottaen huomioon sekä ajodynaamiset ja optiset että kuivatusteknilliset näkökohdat. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty erilaiset sivukaltevuuden muutostavat.

Übergang vom Dachprofil zur vollen Querneigung in der Kurve (Einseitneigung)

Übergang: Gerade — Klotoid — Kreisbogen

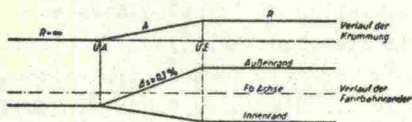


Abb. 16: Anrampungsneigung des Außenrandes $\Delta s \geq 0,3 \text{ ‰}$

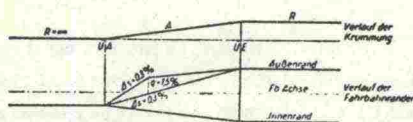


Abb. 17: Anrampungsneigung des Außenrandes $\Delta s < 0,3 \text{ ‰}$

Übergang zwischen verschieden großen gleichsinnigen Querneigungen.

Übergang: Gerade — Klotoid — Kreisbogen

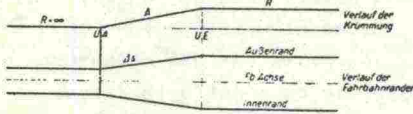


Abb. 18: Anrampungsneigung $\Delta s = \text{beliebig}$

Übergang: Kreisbogen — Klotoid — Kreisbogen (Ellinie)



Abb. 19: Anrampungsneigung $\Delta s = \text{beliebig}$

Übergang zwischen verschieden oder gleich großen gegensinnigen Querneigungen.

Übergang: Gerade — Klotoid — Kreisbogen

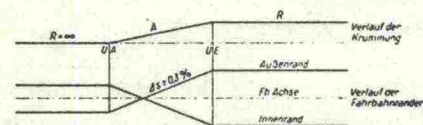


Abb. 20: Anrampungsneigung $\Delta s \geq 0,3 \text{ ‰}$

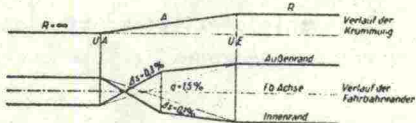


Abb. 21: Anrampungsneigung $\Delta s < 0,3 \text{ ‰}$

Kuva 16

Sivukaltevuuden muutos suoran ja ympyräkaaren sekä kahden samansuuntaisen ympyräkaaren ja niitä yhdistävän klotoidin välillä

Übergang: Kreisbogen — Wendeklotoid — Kreisbogen

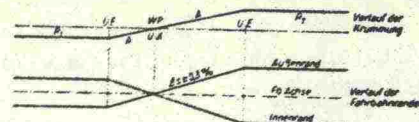


Abb. 22: Anrampungsneigung $\Delta s \geq 0,3 \text{ ‰}$

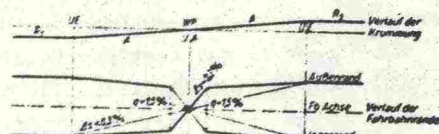


Abb. 23: Anrampungsneigung $\Delta s < 0,3 \text{ ‰}$

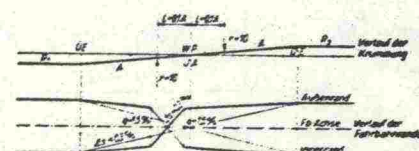


Abb. 24: Anrampungsneigung $\Delta s < 0,3 \text{ ‰}$

Übergang: Gerade — Klotoid — Klotoid — Gerade

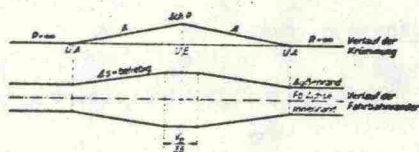


Abb. 25: Gleichsinniger Querneignungsverlauf und Anrampungsneigung $\Delta s = \text{beliebig}$

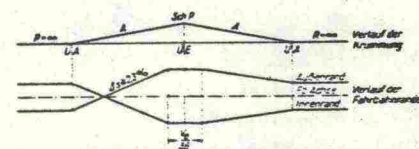


Abb. 26: Gegensinniger Querneignungsverlauf und Anrampungsneigung $\Delta s \geq 0,3 \text{ ‰}$

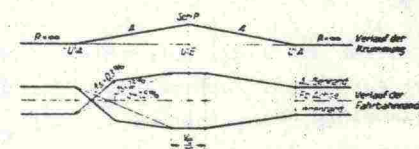


Abb. 27: Gegensinniger Querneignungsverlauf und Anrampungsneigung $\Delta s < 0,3 \text{ ‰}$

Kuva 17

Sivukaltevuuden muutos S-kaaren ja lakikaaren kohdalla

Sivukaltevuuden muutosnopeutta koskevat määräykset on tehty koskien nousuviistettä. Nousuviisteen enimmäisarvoiksi on ajodynaamisesti ja optisesti perustein määritetty taulukossa 13 esitetyt arvot.

Suunnittelunopeus V_a (km/h)	Nousuviisteen enimmäisarvo s (%)
30... 40	1,5
50... 60	1,0
80... 100	0,5

Taulukko 9

Nousuviisteen enimmäisarvot

Kuivatusteknillisten näkökohtien perusteella on nousuviisteen vähimmäisarvoksi annettu arvo 0.3 % niillä alueilla, joissa sivukaltevuus on pienempi kuin 1.5 %.

Mikäli nousuviiste on suurempi tai yhtä suuri kuin 0.5 %, on sivukaltevuuden muutoksen alkuun ja loppuun tulevat taitteet pyöristettävä taulukossa 14 annetuilla pyöristyssäteillä.

Suunnittelunopeus V_e (km/h)	Pyöristyssäde (m)
50	500
60	1000
80	2000

Taulukko 10

Nousuviisteen aiheuttamien taitteiden pyöristämisessä käytettävien säteiden vähimmäisarvot

4.4 USA

4.41 Ajoradan sivu- ja viettokaltevuus

Ajoradan sivukaltevuus suositellaan tietlinjan kaarteessa määrättäväksi ajodynaamisista perusteista kaavalla 34.

$$e = \frac{0.067 V^2}{R} - f \quad (34)$$

jossa e = sivukaltevuus
 V = keskimääräinen ajonopeus (mailia/6]
 R = kaarresäde (ft]
 f = sivukitkeroin

Kaavaan 34 sivukitkeroin f määrätään ajonopeuden funktiona. Keskimääräisenä ajonopeutena käytetään yleensä nopeusarvoa, joka on noin 80...93 % tien mitoitusnopeudesta.

Sivukaltevuuden mitoitus tapahtuu kaavalla 34 siten, että keskipakoisvoima kumotaan kokonaan sivukaltevuudella siihen saakka, kunnes sivukaltevuus saa maksimiarvonsa. Kaavaan 34 merkitty f saa siis arvon nolla sivukaltevuuden ollessa pienempi kuin maksimiarvonsa ja jota suuremmilla sivukiihtyvyyden arvoilla sivukaltevuutena käytetään sen enimmäisarvoa.

Sivukaltevuuden enimmäisarvot riippuvat ilmasto- ja maasto-olosuhteista, hitaasti liikkuvien ajoneuvojen määrästä sekä siitä onko kysymyksessä kaupunki ja maaseutuolosuhteista seuraavasti :

- sivukaltevuuden enimmäisarvo on 12 %, jos tiellä ei ole lunta ja jäätä

- sivukaltevuuden enimmäisarvo on 8 % (joissakin osavaltioissa 10 %), jos tiellä on lunta ja jäätä
- sivukaltevuuden enimmäisarvo on 6 % jos kysymyksessä on kaupunkiolosuhteet, joissa on nopeusrajoitus, liikennevirrassa on paljon hitaita ajoneuvoja sekä liittyviä on vähän

Sivukaltevuuden vähimmäisarvo on määrätty kuivatusteknillisten näkökohtien perusteella päällysteestä riippuen siten että korkealuokkaisilla jäykillä päällysteillä se on 0.008 (ft/ft) ja alempiluokkaisilla taipuisilla päällysteillä 0.02 (ft/ft). Yleensä sivukaltevuutena käytetään suoralla tieosalla 0.01 ... 0.015 (ft/ft) keskiarvon ollessa 0.012 (ft/ft).

4.42 Ajoradan sivukaltevuuden muutokset

Ajoradan sivukaltevuuden muutostapoja on käytössä useita. Kaikille muutostavoille on kuitenkin yhteistä muutosnopeuksien määrittämisen perustuminen yksinomaan ajodynamiikkaan.

Sivukaltevuuden muutosmatka määrätään joko laskemalla kaavalla 25 ko. muutoskohtaan tarvittavan siirtymäkaaren vähimmäispituus käyttäen sallittuna sivukiihtyvyyden muutoksena 0.61 m/s³ tahi nousuviisteen enimmäisarvoon perustuen. Nousuviisteelle on annettu taulukossa 15 esitetyt enimmäisarvot.

Nopeus		Nousuviiste
(km/h)	(mph)	
48	30	1:150
64	40	1:175
80	50	1:200
96	60	1:225
112	70	1:250

Taulukko 15

Nousuviisteen enimmäisarvot

Taulukossa 15 esitettyjen nousuviisteen arvojen perusteella on laskettu taulukossa 16 annetut siirtymäkaaren pituudet. Taulukon 16 arvot ovat kaksiajokaistaista tietä varten ja mikäli kysymyksessä on useampiajokaistainen tie, on taulukon 16 arvot kerrottava seuraavilla kokemuspäisillä vakioilla:

3-ajokaistaiset tiet	kerroin
4- " "	1.5
5- " "	2.0

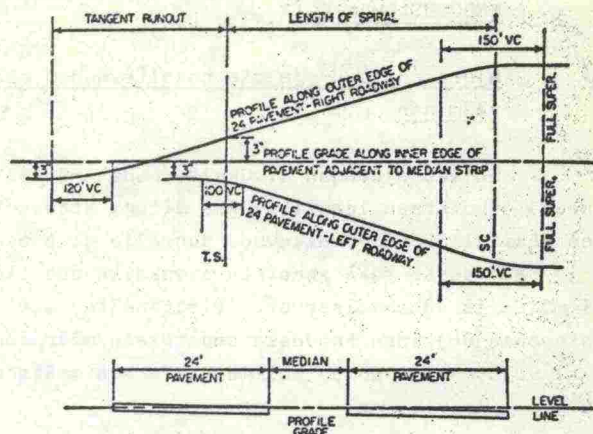
Sivukaltevuus (-)	Muutosmatka (m)				
	V = 48 (km/h)	V = 64 (km/h)	V = 80 (km/h)	V = 96 (km/h)	V = 112 (km/h)
	kaistan leveys 3,66 m (12 ft)				
0.02	11	12	15	17	18
0.04	21	26	29	34	37
0.06	34	38	44	49	55
0.08	44	52	58	66	73
0.10	55	64	73	82	90
0.12	65	76	88	99	110
	kaistan leveys 3,05 m (10 ft)				
0.02	9	11	12	14	15
0.04	18	21	24	27	31
0.06	27	32	37	41	46
0.08	37	43	49	55	61
0.10	46	53	61	69	76
0.12	55	64	73	82	91
Sivukaltevuuden muutos- matkan minimi	30	38	46	53	61

Taulukko 16

Siirtymäkaaren vähimmäispituudet

Taulukossa 15 esitetyt sivukaltevuuden muutoksen vähimmäismatkat on laskettu siten, että mitoitusnopeudella kulkeva ajoneuvo käyttää noin 2 sekuntia muutosmatkan ajamiseen.

Sivukaltevuuden muutostavat on esitetty kuvassa 18.



SECTION AT FULL SUPERELEVATION
FIG. 22-3. Method of attaining superlevation, dual highway.

Table 22-6. Rate of Superlevation, Spirals, and Tangent Runout

Degree of curve	Rate of superlevation, in. per ft. of width	Length of spiral, ft.	Tangent runout, ft.
1°45'	3/4	150	268
2°0'	3/4	150	210
2°15'	3/4	200	210
2°30'	3/4	200	164
2°45'	1 1/4	250	162
3°0'	3/4	250	160
3°15'	1 1/4	280	158
3°30'	3/4	300	157
4°0'	1	350	154
4°30'	1 1/4	370	148
5°0'	1 1/4	410	146
5°15'	1 1/4	400	145
5°30'	1 1/4	400	141

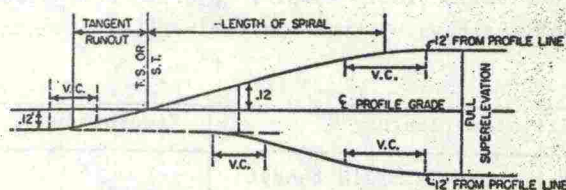
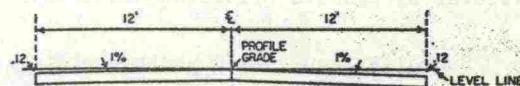


FIG. 22-4. Attaining superlevation by rotating roadway about center line.

Kuva 18

Sivukaltevuuden muutoksen suorittaminen
USA:n ohjeiden mukaan (WOODS)

5. EHDOTUS OHJEIKSI

5.1 Ajoradan sivu- ja viettokaltevuu-
den määräinen

Ohjeet ajoradan sivukaltevuu-
den määrämisestä ehdotetaan laadittavaksi siten, että erikseen käsitellään sivukaltevuus suoralla tien osalla ja kaarteissa sekä annetaan sivukaltevuu-
den enimmäis- ja vähimmäisarvot. Viettokaltevuu-
den koskevassa ohjeiden kohdassa ehdotetaan määrättäväksi viettokaltevuu-
den enimmäis- ja vähimmäisarvot.

Suoralla tien osalla ehdotetaan sivukaltevuu-
den arvot määrättäväksi kohdan 2.2 mukaisesti kuivatusteknillisten näkökohtien perusteella. Kuivatusnormien (normien kohta IV 3) mukaan tulee sivukaltevuu-
den olla suoralla tien osalla päällysteestä riippuen taulukossa 17 esitettyjen arvojen mukainen. Koska ajodynaamisessa mielessä suoralla tiellä sivukaltevuus ei ole tarpeen, on sivukaltevuu-
den suuruus tarkoituksenmukaista määrätä taulukon 17 arvojen mukaisesti, jolloin pintavedet poistuvat ajoradalta riittävän nopeasti.

Suoralla tien osalla yksiajorataisella tiellä sivukaltevuus on kaksipuolinen ja kaksiajorataisella tiellä kumpikin ajorata on yksipuolisesti kalteva viettäen pois-
päin keskiviivasta.

Päällysteen laatu	Sivukaltevuus %
Sekoitusmenetelmällä tehdyt päällysteet ja kantavat kerrokset	2,0 ... 3,0
Valuasfaltit	1,5 ... 2,0
Öljysora	3,0 ... 4,0
Sora	5,0
Imeytysmenetelmällä tehdyt päällysteet ja kantavat kerrokset	2,5 ... 3,0

Taulukko 17

Sivukaltevuus suoralla tien osalla

Tielinjan kaarteissa ajorata voidaan suunnitella kaksipuolisesti sivukaltevak-
si, mikäli kaarresäde on eri mitoitusnopeuksilla tai salit-
uilla nopeuksilla vähintään taulukossa 18 esi-
tetyn mukainen. Kaarresäteen arvot on laskettu ajodynaamisella peruskaavalla (kaava 5) käyttä-
mällä sivukittakertoimen arvoa 0,035. Ko. kitka-
arvo on valittu turvallisuusnäkökohtien perusteella ottaen huomioon liukkaat talviolosuhteet.

Mitoitusnopeus (ohjenopeus) (km/h)	Kaarresäde (m)
40	1500
50	2000
60	3000
70	4000
80	5000

Taulukko 18

Tielinjan kaarresäteet, joiden matkalla ajorata voidaan mitoit-
taa kaksipuolisesti sivukaltevak-
si

Tielinjan kaarteissa on ajoradalla yleensä yksipuolinen sivukaltevuus, jota koskevissa suunnitteluohjeissa on määrättävä sivukaltevuu-
den vähimmäis- ja enimmäisarvo ja mitoitusohjeet.

Sivukaltevuu-
den vähimmäisarvo kaarteissa tulee määrätä samoin kuivatusteknillisin perustein kuin suoralla tien osallakin (taulukko 17).

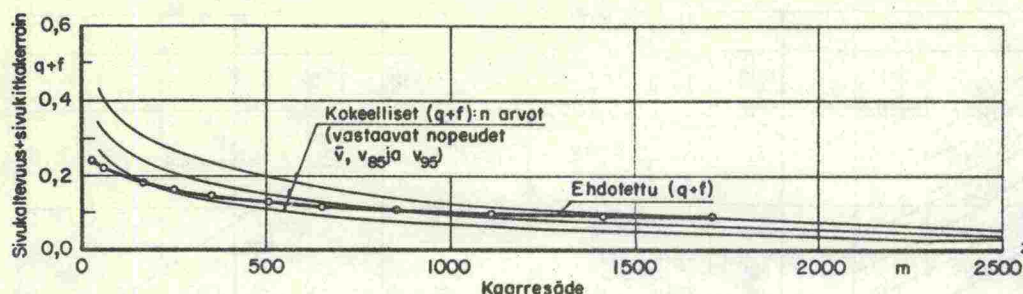
Ajoradan yksipuolisen sivukaltevuu-
den enimmäisarvoksi ehdotetaan ajodynaamisten näkökoh-
tien vuoksi valittavaksi 7,0 %. Vaikka kaarresä-
teen ja nopeuden riippuvuutta selvittävien kokei-
den perusteella saadaan pienille kaarresäteille ja mitoitusnopeuksille (ohjenopeuksille) teoreetti-
sesti laskien tarpeelliseksi sivukaltevuu-
den arvoksi yli 7,0 %, ei tätä suurempia arvoja ole mi-
toituksessa tarkoituksenmukaista käyttää ottaen turvallisuusnäkökohtana huomioon pysähtyneiden tai hitaiden ajoneuvojen liukumisvaaran liukka-
issa talviolosuhteissa.

Ajoradan yksipuolisen sivukaltevuu-
den enimmäisarvot ehdotetaan eri mitoitusnopeuksille valittavaksi taulukossa 19 esitetyn suuruisiksi.

Mitoitusnopeus (ohjenopeus) (km/h)	Sivukaltevuu- den enimmäisarvo (%)
40	7,0
50	7,0
60	6,0
70	6,0
80	6,0
90	5,0
100	5,0
110	5,0
120	4,0
130	4,0
140	4,0

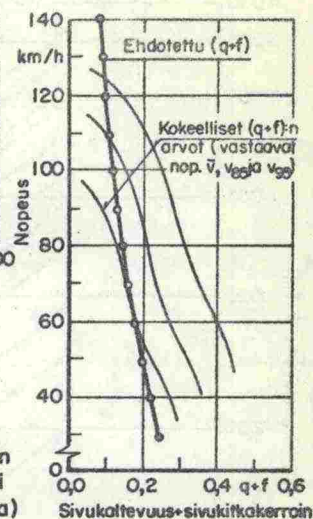
Taulukko 19

Sivukaltevuu-
den enimmäisarvo eri mitoitusnopeuk-
silla (ohjenopeuksilla)



Kuva 19

Kokeellisten ja ehdotettujen $(q+f)$:n arvojen suhtautuminen toisiinsa eri kaarresäteillä



Kuva 20

Kokeellisten ja ehdotettujen $(q+f)$:n arvojen suhtautuminen toisiinsa eri mitoitusnopeuksilla (ohjenopeuksilla)

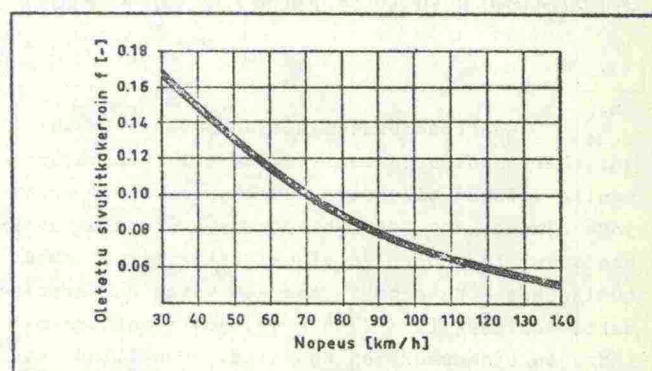
Sivukaltevuuden enimmäisarvoja koskeva ehdotus pohjautuu sekä teoreettiseen tarkasteluun että käytännössä suoritettuihin nopeustutkimuksiin.

Ehdotettujen sivukaltevuuden enimmäisarvojen suhtautuminen käytännön kokeissa saatuihin $(q+f)$:n arvoihin ilmenee kuvista 19 ja 20. Ko. kuviin on piirretty ehdotettujen sivukaltevuuden enimmäisarvojen ja sivukitkakertoimen enimmäisarvojen (kuva 20, vrt. kohta A.8) yhteenlaskettu suuruus $(q+f)$ eri mitoitusnopeuksilla ja kaarresäteillä. Kuvista voidaan todeta, että ehdotettu $(q+f)$:n arvo ei täysin vastaa kokeissa saatua v_{85} :ttä vastaavaa $(q+f)$:ää. Ero johtuu siitä, että ajoneuvot liikkuvat kesäolosuhteissa pienisäteisissä kaarteissa suhteellisen suurilla nopeuksilla. Mikäli tätä käytettäisiin mitoituksen perusteena, se johtaisi suurien sivukaltevuuksien käyttöön, johon ei ole kuitenkaan mahdollisuutta talviolosuhteissa pienillä nopeuksilla tapahtuvan liukumisvaaran takia. Suurten kaarresäteiden kohdalla ehdotettu $(q+f)$ ylittää v_{85} :ttä vastaavan $(q+f)$:n arvon siksi, että ajoneuvot käyttävät yleensä suurissa kaarresäteissä pienempää ajonopeutta kuin teoreettinen mitoitusnopeus. Mitoituksen lähtöarvoiksi täytyy kuitenkin valita riittävän suuret sivukaltevuuden ja -kitkakertoimen arvot ottaen huomioon, että kaarteissa tulee voida ajaa turvallisesti myös mitoitusnopeudella.

Tielinjan kaarteissa ajetaan eri tavoin riippuen siitä, onko ko. tie nopeusrajoitukseton vai onko sille asetettu nopeusrajoitus.

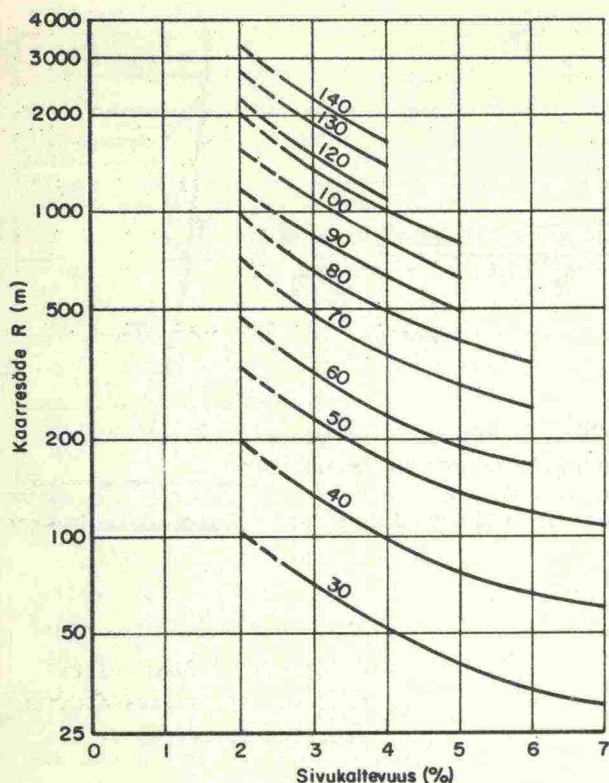
Nopeusrajoituksettomalla tiesallalla ehdotetaan sivukaltevuuden määrittämisperusteet laadittavaksi ajodynamiikan peruskaavan perusteella ottaen vähimmäisarvojen määrittämisessä huomioon käytännössä havaitut ajonopeudet kaarteissa.

Ajodynamiisella peruskaavalla saadaan nopeudelle, kaarresäteelle ja sivukaltevuudelle kuvassa 22 esitetty riippuvuus, kun keskipakoisvoimasta oletetaan kumottavaksi sivukaltevuudella ja sivukitkalla kuvassa 23 esitetyt osuudet. Kuvan 23 kuvaaja on määrätty siten, että sivukaltevuus on taulukon 19 ja sivukitkakertoimen kuvan 21 mukainen



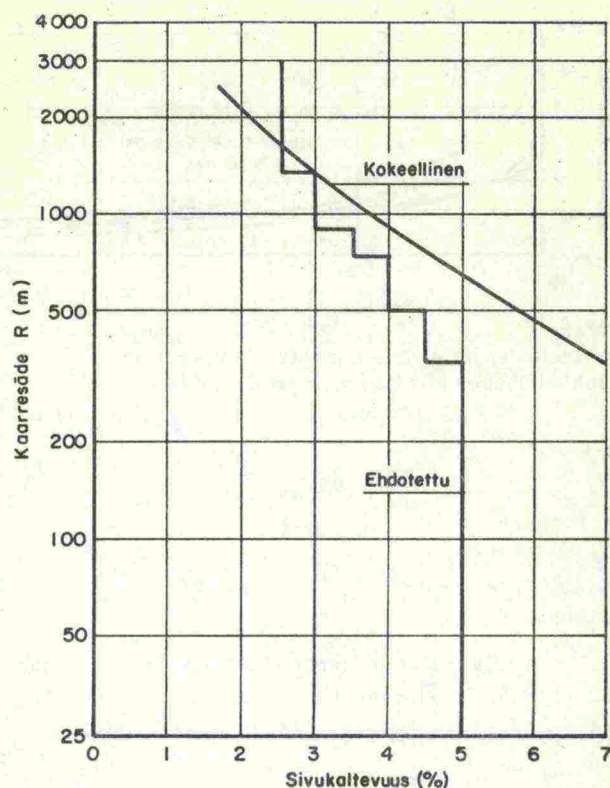
Kuva 21

Sivukitkakertoimen enimmäisarvo eri nopeuksilla



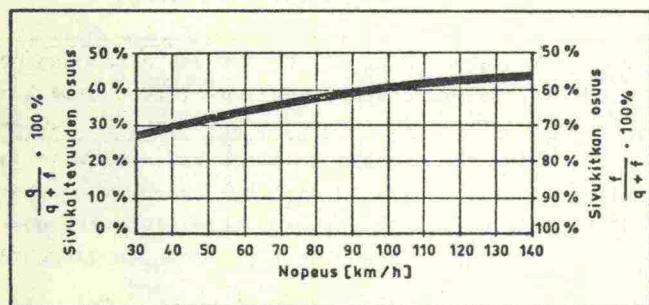
Kuva 22

Sivukaltevuuden suuruus kaarresäteen ja nopeuden funktiona



Kuva 24

Kokeelliset ja ehdotetut sivukaltevuuden arvot kaarresäteen funktiona



Kuva 23

Sivukaltevuuden ja sivukitkan oletettu riippuvuus nopeudesta

Kaarresäteiden ja ajonopeuksien keskinäistä riippuvuutta osoittavien tulosten perusteella voidaan sivukaltevuudelle laskea se arvo, jota ajonopeudet edellyttävät, kun otetaan huomioon sivukaltevuuden ja sivukitkakertoimen jakautumissuhde. Kuvasta 19 saadaan kutakin kaarresädettä vastaava $(q + f)$:n arvo, josta saadaan mitattujen ajonopeuksien kannalta tarpeellinen sivukaltevuus jakamalla ko. $(q + f)$:n arvo kuvassa 23 esitettyssä suhteessa sivukaltevuuden ja sivukitkakertoimen osalle. Em. tavalla lasketut sivukaltevuuden arvot on esitetty graafisessa muodossa kuvassa 24, jossa ne on merkitty kokeelliseksi käyräksi.

Nopeusrajoituksettomien tieosien sivukaltevuuden määrittämisperusteet ehdotetaan laadittavaksi siten, että sivukaltevuuden arvo määrätään kuvan 22 käyrästä perusteella ottaen kuitenkin huomioon, ettei sivukaltevuus voi olla pienempi kuin kuvan 24 aproksimoitu porrassviiva osoittaa. Ko. vähimmäisarvo on määrättävä siksi, että ajoneuvojen nopeus on kaarteissa mitoitusnopeudesta riippumaton ja ajonopeus vastaa ajodynamiassa mielessä porrassviivan osoittamia aproksimoituja sivukaltevuuden arvoja. Porrassviivalle on otettava enimmäisarvoksi 5 % siksi, ettei sitä suurempia arvoja voida suositella ottaen huomioon liukkaat talviolosuhteet.

Nopeusrajoitusalueella määrätään ajoradan sivukaltevuuden arvo kaarresäteiden ja nopeusrajoituksen osoittaman nopeusarvon perusteella (kuva 22). Näin voidaan menetellä siksi, että ajonopeudet vastaavat suhteellisen tarkasti nopeusrajoitusta. Sivukaltevuuden määrittämisperusteet ovat siis pelkästään ajodynamiikan peruskaavan mukaiset, jossa on otettu huomioon sivukaltevuuden ja sivukitkakertoimen osuuksien riippuvuus nopeudesta (kuva 23).

Viettokaltevuuudesta ehdotetaan suunnitteluluohjeissa määrättäväksi vähimmäis- ja enimmäisarvot.

Viettokaltevuuuden vähimmäisarvoksi ehdotetaan kuivatusteknillisten näkökohtien perusteella normaalisti 1 % ja poikkeuksellisesti 0,5 %, jotka arvot on esitetty normaalimääräysten ja ohjeiden kohdassa IV 3 "Kuivatuksen suunnittelu".

Viettokaltevuuudelle ehdotetaan liikenneturvallisuuskäkökohtien perusteella taulukon 20 mukaisia enimmäisarvoja.

Tien luokka	Viettokaltevuuuden enimmäisarvo (%)
Moottoritie	6,0
Moottoriliikennetie	6,0
Sekaliikennettä palvelevat tiet	
- päätie	7,0
- kokoojatie	10,0
- yhdystie	13,0

Taulukko 20

Viettokaltevuuuden enimmäisarvot

Viettokaltevuuuden, sivukaltevuuuden ja pituuskaltevuuuden enimmäisarvojen samanaikaista esiintymismahdollisuutta ilmentää taulukko 21.

Tien luokka	q_{\max} (%)	p_{\max} (%)	$s = \sqrt{p_{\max}^2 - q_{\max}^2}$ (%)	s_{\max} (%)	p_{\max} (%)	$q = \sqrt{p_{\max}^2 - s_{\max}^2}$ (%)
Moottoritie	5,0	6,0	3,3	5,0	6,0	3,3
Moottoriliikennetie	5,0	6,0	3,3	5,0	6,0	3,3
Sekaliikennettä palvelevat tiet						
- päätie	6,0	7,0	3,6	6,0	7,0	3,6
- kokoojatie	6,0	10,0	8,0	9,0	10,0	4,4
- yhdystie	7,0	13,0	11,0	12,0	13,0	5,0

Taulukko 21

Ehdotettujen vietto-, sivu- ja pituuskaltevuuksien enimmäisarvojen riippuvuussuhteet

5.2 Ajoinadan sivukaltevuuuden muutokset

Kohdissa 3 ja 4 esitettyjen tarkastelujen perusteella voidaan todeta, että sivukaltevuuuden muutoksen suunnittelun tulee perustua ajodynaamisiin ja kuivatusteknillisiin näkökohtiin ottaen lisäksi huomioon ulkonäköseikat. Koska ei ole mahdollista laatia ajodynaamiset, optiset ja kuivatusteknilliset näkökohdat huomioon ottavaa kaavaa, tulee kaikkia näkökohtia tarkastella erikseen.

Suunnitteluluohjeiden laatiminen ehdotetaan tehtäväksi siltä pohjalta, että ajodynaamika määrää sivukaltevuuuden muuttumisen enimmäisnopeuden ja kuivatusteknilliset näkökohdat vähimmäisnopeuden. Optiset näkökohdat ehdotetaan otettavaksi huomioon muutoksen vähimmäismatkaa määrättäessä.

Sivukaltevuuuden muuttumisnopeuden ajodynaaminen enimmäisarvo lasketaan kaavalla 27. Ko. kaavassa esiintyvä sivukaltevuuuden muutoksesta aiheutuva osa sivukihtyvyyden muutoksesta ehdotetaan valittavan $0,3 \text{ m/s}^3$. Ko. muutosnopeus vastaa myös optisessa mielessä sille esitettyjä enimmäisarvoja. Tämän arvon perusteella voidaan kaavalla 27 laskea taulukossa 22 esitetyt sivukaltevuuuden muutoksen enimmäisnopeudet.

Sivukaltevuuuden ollessa pienempi kuin 1,5 % (Kohta 3.2) tulee kuivatusteknillisten näkökohtien vuoksi sivukaltevuuuden muutoksen olla riittävän nopea. Kun perusteina pidetään sitä, ettei toisaalta pintavesi saa virrata tietä pitkin pitempää matkaa kuin 100 metriä ja ettei toisaalta viettokaltevuus saa olla 20 metriä pitemmällä matkalla pienempi kuin 0,5 %, voidaan määrätä sivukaltevuuuden muutosnopeuden kuivatusteknilliset vähimmäisarvot (Taulukko 23).

Optisten näkökohtien kannalta on sitä edullisempaa, mitä pitemmällä matkalla sivukaltevuuuden muutos suoritetaan. Optiset näkökohdat

Mitoitusnopeus (ohjenopeus) (km/h)	Sivukaltevuuuden muutosnopeus (% / 10 m)
40	2,50
60	1,75
80	1,25
100	1,00
120	0,85
140	0,75

Taulukko 22

Sivukaltevuuuden muutoksen enimmäisnopeus

Päällyste	Pituuskaltevuus (%)	Sivukaltevuuden muutoksen vähimmäisnopeus sivukaltevuuden ollessa $\leq 1,5\%$ (%/10 m)
Valuasfaltti tai sekoitusmenetelmällä valmistettu päällyste	0 ... 0,75 0,75...3,0 3,0 ... 6,0 $\geq 6,0$	0,50 0,15 0,15...0,50 0,50
Öljy- tai bitumiliuosora	0 ... 1,0 1,0 ... 3,0 3,0 ... 6,0 $\geq 6,0$	1,00 0,20 0,20...0,50 0,50
Sora tai imeytyspinta	0 ... 10,0	2,00

Taulukko 23

Sivukaltevuuden muutosnopeuden vähimmäisarvo kuivatusteknillisten näkökohtien perusteella

voidaan sivukaltevuuden muutoksen suunnittelussa ottaa parhaiten huomioon nousuviisteen avulla. Nousuviisteelle ehdotetaan taulukossa 24 esitetyjä enimmäisarvoja.

Koska sekä ajodynamiikka että optiset näkökohdat määräävät sivukaltevuuden muutoksen enimmäisnopeutta, on käytännön suunnittelua silmälläpitäen tarkoituksenmukaista näiden yhdistäminen esim. graafisen kuvaajan muodossa.

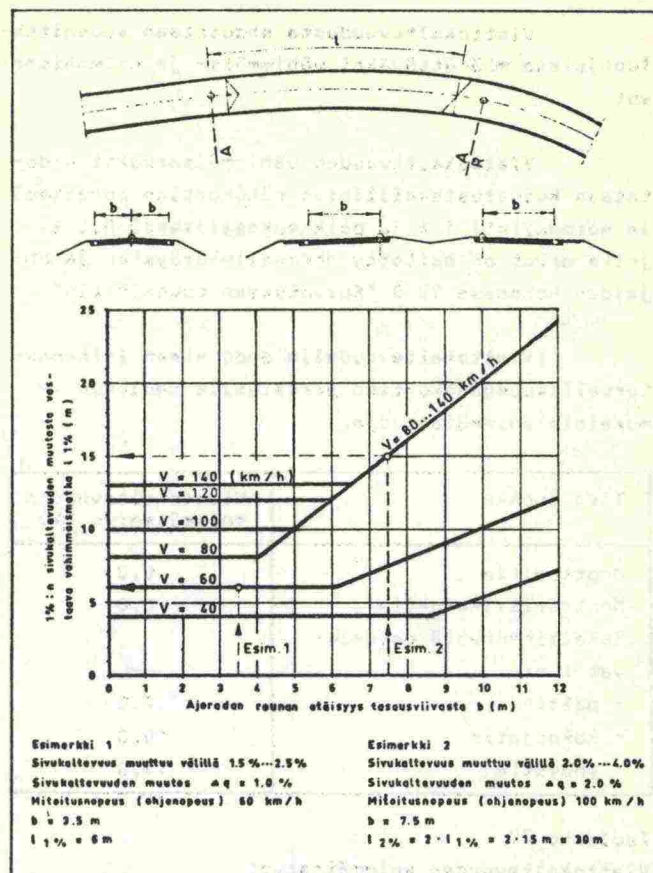
Ajodynaamisten ja optisten näkökohtien perusteella määrätty sivukaltevuuden muutoksen vähimmäismatkat ilmenevät kuvasta 25. Ko. kuvassa on esitetty sivukaltevuuden yhden prosentin muutosta vastaava vähimmäismatka mitoitusnopeuden (ohjenopeuden) sekä ajoradan reunan ja tasausviivan välisen etäisyyden funktiona. Kuvassa 25 oleva kuvaajaparvi on määrätty vaakasuorilta osiltaan taulukon 21 arvojen perusteella ja kaltevat osat on laskettu kaavalla 28 olettaen nousuviisteen enimmäisarvot taulukossa 24 esitetyiksi.

Sivukaltevuuden muutostavat ehdotetaan ohjeissa määrättävän kuvissa 26, 27 ja 28 esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Ko. kuvista voidaan todeta, että sivukaltevuuden muutostapa on riippuvainen tielinjan elementtiyhdistelmästä ja tien pituuskaltevuudesta.

Mitoitusnopeus (ohjenopeus) (km/h)	Nousuviisteen enimmäisarvo (%)
30 ... 40	1,5
50 ... 60	1,0
80 ... 140	0,5

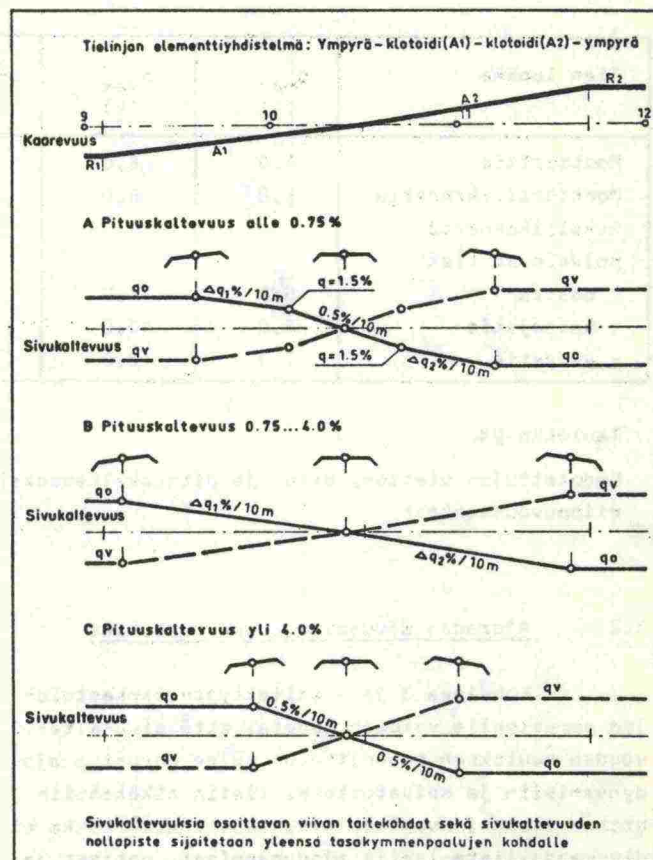
Taulukko 24

Nousuviisteen enimmäisarvot



Kuva 25

Sivukaltevuuden muutosmatkan vähimmäispituus



Kuva 26

Sivukaltevuuden muutos S-kaaren kohdalla

- | | |
|---|--|
| <p>6) AASHO: A Policy on Geometric Design of Rural Highways 1954</p> <p>7) O Hintikka: Nopeustutkimus pienisäteissä kaarteissa, TKK dipl.työ 1965</p> <p>8) O Wahlgren: Ajoneuvojen nopeuksien riippuvuus eri tekijöistä - erityisesti tien geometriasta - Suomen 2-kaistaisilla maanteilla</p> <p>9) Woods: Highway Engineering Handbook 1960</p> <p>10) Neumann: Neuzeitlicher Strassenbau 1959</p> <p>11) Kallberg: Ohjenopeudesta ja ohjeellisesta nopeudesta tieliikenteessä, TKK julkaisu 15/1969</p> | <p>12) Kallberg: Ohjenopeus ja tienopeus tiensuunnittelun perustana, TKK julkaisu 16/1969</p> <p>13) Kallberg: 2-kaistaisen maantien tienopeuden määrittäminen, TKK julkaisu 17/1969</p> <p>14) Schnecke Rathschuh: Bestimmung der möglichen Verkehrsgeschwindigkeit auf Strassen aus der verkehrlichen und baulichen Ausbaupwertigkeit, Strasse und Autobahn 4/1969</p> <p>15) Pohjoismaisen Tieteknillisen Liiton Suomen osasto RIL 61 Asfalttipääällystenormit 1968</p> <p>16) Jones: The Geometric Design of Modern Highways 1961</p> <p>17) TVH/TTT: Ajoradan sivukaltevuuden muuttuminen, muistio 1964</p> |
|---|--|

B NORMIEHDOTUKSEN PERUSTELUJA

GEOMETRINEN TOIMIKUNTA

2.0	Yleistä	1
2.1	Tien sovittaminen maastoon	1
2.10	Yleistä	
2.11	Teknillistaloudelliset näkökohdat	1
2.12	Maankäyttotaloudelliset näkökohdat	2
2.13	Ympäristönsuojelunäkökohdat	2
2.2	Geometrinen suunnittelu	2
2.20	Yleistä	2
2.21	Pysähtymismatka	4
2.22	Näkemät ja näkemäalueet	5
2.23	Tielinjan suunnittelu	7
2.24	Tasausviivan suunnittelu	8
2.25	Tien pinnan sivu- ja viettokaltevuus	9
2.26	Poikkileikkauksen leveyden muutokset	10
2.27	Ajoradan lisäkaistat	10
2.28	Tien geometrinen muoto	10
2.3	Suuntauksen suunnittelun työvaiheet	11
2.30	Yleistä	11

2.0 YLEISTÄ

Ohjeluonnoksessa on haluttu tuoda selvästi esille tien sijainnin ja muodon suunnittelun kaksijakoisuus. Tehtävänä on löytää tielle tarkoituksenmukaisin paikka maastossa ja määrätä tielle sopivat geometriset mitat. Tästä syystä ohjeluonnoksen alkuosa on jaettu kahteen lukuun, joista edellisessä käsitellään tien sovittamista maastoon ja jälkimmäinen tien geometrista suunnittelua.

Koko ohjeluonnoksen otsikoksi ei ole tästä syystä sopinut "tien geometrinen suunnittelu." Tien sijainnin ja muodon suunnittelusta nykyään eräissä yhteyksissä käytettyä nimitystä "tien linjauksen suunnittelu" toimikunta ei pitänyt onnistuneena, koska se on sanallisesti liian lähellä tielinjan suunnittelua. Edellä mainituista syistä toimikunta päätyi ehdotukseen, että tien sijainnin ja muodon suunnittelusta käytettäisiin nimitystä "tien suuntauksen suunnittelu."

Tien suuntauksen suunnittelua koskeva normiehdotus poikkeaa monista ulkomaisista normeista, joissa tien sovittamiseen maastoon on kiinnitetty varsin vähän huomiota. Tien sovittamisella maastoon on toimikunnan käsityksen mukaan varsin suuri liikenne- ja maankäyttötaloudellinen sekä elinympäristöä muodostava merkitys. Tästä syystä toimikunta on pitänyt tarpeellisena näitä näkökohtia lyhyesti käsittelevän luvun sisällyttämistä normiluonnokseen.

Ohjeluonnoksen luvussa "Suuntauksen suunnittelun työvaiheet" toimikunta on tahtonut kiinnittää suunnittelijan huomion suuntauksien suunnittelun tarkkuuteen väyläkohtaisen suunnittelun eri vaiheissa sekä osoittamaan ne keinot, joilla tarkoituksenmukaisin suuntaus on määrättävissä. Toimikunnan käsityksen mukaan ohje olisi ollut puutteellinen, mikäli siinä olisi esitetty yksinomaan tavoitteita ja huomioon otettavia näkökohtia, mutta ei olisi käsitelty keinoja, joita käyttäen em. tavoitteet ovat saavutettavissa.

Tien liikenneteknillisen suunnittelun yleisiä lähtökohtia, tavoitteita ja perusteluja on tarkoituksena käsitellä yksityiskohtaisesti myöhemmin laadittavassa ohjeluonnoksessa, joka tulee sisältymään liikenneteknillistä suunnittelua käsittelevän luvun alkuosaan.

2.1 TIEN SOVITTAMINEN MAASTOON

2.10 Yleistä

Otsikon merkitys

Tien sovittaminen maastoon voidaan käynnön suunnittelua silmälläpitäen jakaa seuraaviin vaiheisiin:

- tielle etsitään yleisluontoisten suun-

nitelmien, kuten esim. maankäyttö- ja tieverkkosuunnitelmien sekä maaperää ja topografiaa koskevien tietojen, lähinnä kartta-ainaston perusteella sellainen yleissuunta, maastokäytävä, johon sijoitettu tie on teknillisesti mahdollinen toteuttaa

- tie suunnitellaan yksityiskohtaisemmin sijoittamalla se maaston muutamien metrien tai muutamien kymmenien metrien tarkkuudella. Tällöin kiinnitetään tien maastoonsovittamiseen liittyvinä näkökohtina huomiota tien sopivuuteen eri maisematiloihin, tien vaikutukseen luonnonolosuhteisiin, asutukseen ja rauhoitusalueisiin. Tärkeätä osaa näyttelevät tällöin ympäristön arvojen säilyttämisen ja suojaamisen ohella maastataloudelliset näkökohdat
- suunnitellaan ne toimenpiteet, joilla tien mahdollisesti aiheuttamia haittoja ja vahinkoja asutukselle ja luonnonolosuhteille voidaan lieventää. Tällaisia toimenpiteitä ovat esim. maastonmuotoilu-, täyttö-, istutus- ja verhoilutoimenpiteet

Tien sovittaminen maastoon tarkoittaa täten tien sijainnin määräämistä ympäristöolosuhteiden perusteella. Ympäristöolosuhteet voidaan ryhmitellä teknillistaloudellisiksi näkökohdiksi esim. maaston topografia, maaperä, rakennusainetalous ja maastossa olevat rakenteet, maankäyttötaloudellisiksi näkökohdiksi esim. maankäyttösuunnitelmat ja asutus sekä ympäristönsuojelunäkökohdiksi esim. saasteiden torjunta, luonnon- ja maisemansuojelu ja historiallisten muistomerkkien suojelu.

Käsittelytapa

Normiosassa "Tien sovittaminen maastoon" on käsittely teknillis- ja maankäyttötaloudellisten sekä ympäristönsuojelunäkökohtien vaikutusta tien suuntauksen suunnitteluun. Käsittelyssä on tuotu esiin eri näkökohtia ilman niiden keskinäisiä vertailuja. Eri näkökohtien tärkeysjärjestys ja painotus ratkaistaan kussakin yksityistapauksessa erikseen käyttäen tarvittaessa eri alan asiantuntijoita. Tässä luvussa käsiteltävistä näkökohdista ja niiden merkityksen painottamisesta voitaneen myöhemmin laatia erillisiä ohjeita.

2.11 Teknillistaloudelliset näkökohdat

Maaston topografiset olosuhteet

Normiehdotuksessa oleva kuva 2 "Maaston topografisten olosuhteiden vaikeusaste eri osissa maata" on otettu ehdotukseen mukaan lähinnä siksi, että se antaa mahdollisuuden eri alueiden väliseen topografiseen yleisvertailuun.

Rakennusainetalous

Rakennusainetalouden käsittelyssä on painotettu eri rakennusmateriaalien esiintymismäärän, tarpeen ja laadun selvittämisen tärkeyttä jo suunnittelun alkuvaiheessa. Tämä johtuu siitä, että suuruusluokaltaan jopa 50...70 % tien rakennuskustannuksista muodostuu sellaisista töistä, joihin massataloudellisessa suunnittelussa vaikutaan. Jotta nämä kustannukset saataisiin optimoiduksi, on niiden huomioon ottaminen riittävän varhaisessa suunnitteluvaiheessa tärkeää. Massataloudellisissa laskelmissa käytettävistä laskelmista tarvitaan erilliset ohjeet.

Maastossa olevat rakenteet

Maastossa olevien rakenteiden ottaminen huomioon edellyttää usein yhteyden ottamista ko. rakenteiden omistajaan. Vasta tällöin voidaan riittävän tarkasti arvioida eräiden rakenteiden poistamisesta aiheutuvia kustannuksia ja tätä toimenpidettä varten tarvittavan määräjän pituutta.

Esimerkki sähkö- ja puhelinjohtojen suojaamis- ja siirtämistoimenpiteiden suunnittelussa voidaan joutua varautumaan erilaisten osien hankkimiseen ulkomailta. Joidenkin johtojen siirtäminen ei käy lainkaan päinsä lämpötilan ollessa alle -5°C .

Sähkö- ja puhelinjohtojen huomioonottamista tien suunnittelussa laadittaneen lähiaikoina erilliset ohjelunnotukset.

2.12 Maankäyttötaloudelliset näkökohdat

Maankäyttösuunnitelmat

Kun tietä suunnitellaan kaava-alueella, on tien suunnittelijan toimittava kiinteässä yhteistyössä kaavoittajan kanssa. Tällöin voidaan varata riittävästi tilaa tietä ja liittymiä varten. Mikäli tie ei sovi kaavaan merkitylle liikennealueelle, voi siitä aiheutuvan kaavanmuutoksen vahvistaminen viivästyttää tien suunnittelun loppuunsaattamista ja joskus jopa rakennustyön aloittamista.

2.13 Ympäristönsuojelunäkökohdat

Melusuoja-alueet

Normiehdotuksessa esitetyt melusuoja alueiden mitat on saatu käyttäen lähtöaineistona lähinnä Pohjoismaisen Rakennusmääräyskomitean (Den Nordiske Komité for Bygningsbetømmelser) raporttia "Melu ja kaavoitus" (Støj og byplan) ja

Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosaston julkaisua "Liikennesuunnitteluohjeet". Mitat ovat likimääräisiä. Ne antavat suuruusluokaltaan oikeita arvoja, mikäli tie ei ole syvässä leikkauksessa eikä tien vieressä ole korkeita rakenteita.

Pohjaveden saastumisen torjunta

Pohjavedenottamon suoja-alueista ei normiehdotuksessa ole annettu metrimääräisiä mittoja, koska niiden suuruus vaihtelee tapauksesta riippuen. Pohjaveden ja maaperän suojelutoimenpiteitä käsitellään yksityiskohtaisemmin kuivatusnormeissa.

Pohjaveden määrän ja laadun tutkiminen on yleensä tarkoituksenmukaista, sillä tällöin helpotetaan yleensä korvauskäsittelyä.

Ympäristönsuojelunäkökohtia käsitellään seikkaperäisemmin tvh:n erillisohjeissa, kuten esim. julkaisussa "Tienvarsien maisemanhoidon suunnittelu".

2.2 GEOMETRINEN SUUNNITTELU

2.20 Yleistä

Geometrista suunnittelua koskevassa ohjelunnotuksessa painotetaan tien kolmiulotteisen tarkastelun tärkeyttä sekä tien pinnan kuivatuksen järjestelyn että näkemäolosuhteiden ja tien ulkonäön muodostumisen kannalta. Kolmiulotteinen tarkastelu on eri maiden suunnitteluohjeissa todettu tarpeelliseksi ja tätä tarkoitusta palvelevia suunnittelumenetelmiä on jatkuvasti kehitteillä.

Poikkileikkauksen valinnan oletetaan tahtuvan jo tien mitoitusesityksen yhteydessä, joten geometrista suunnittelua käsittelevissä ohjeissa rajoitutaan tarkastelemaan vain paikallista olosuhteista, tielinjan ja pituusleikkauksen muodosta ym. tekijöistä johtuvia tien pinnan sivukaltevuuden ja leveyden muutoksia.

Geometrisen suunnittelun lähtökohtina ohjelunnotuksessa mainitaan tien toiminnallinen luokka ja mitoitusnopeus.

Teiden toiminnallinen luokitus perustuu tien asemaan ja merkitykseen tieverkossa. Ohjelunnotuksessa käytetty luokitus pohjautuu tvh:n kirjeessä sisäasiainministeriön kaavoitus- ja rakennusasiainosastolle (kirje n:o T-4405/3.9.1970) asiasta esittämään kannanottoon, jonka mukaan tiet esitetään jaoteltaviksi niiden toiminnallisen merkityksen perusteella seuraavasti:

Taulukko 1

	VALTAKUNNALLINEN LUOKITUS		TAAJAMA - ALUEEN LUOKITUS	
	Luokka	Määritelmä	Luokka	Määritelmä
PÄÄVÄYLÄT	Päätie	Yhdistää valtakunnan eri osien tärkeimmät keskuskeskukset toisiinsa tai kansainvälisen liikenteen kannalta tärkeimpiin rajanylityspaikkoihin.	Pääkatu	Palvelee kaupunkiseudun eri osien välistä ja toisinaan myös sisäistä liikennettä. Palvelee usein myös valtakunnallista liikennettä.
KOKOOJAVÄYLÄT	Kokoojatie	Yhdistää kuntakeskukset ja taajamat toisiinsa sekä päätieverkkoon.	Kokoojakatu	Yhdistää tonttikadut ja usean rakennuksen muodostaman ryhmän sisänsäjo- väylät pääkatuverkkoon. Toimii kaupunkiseudun osan kokoojaväylänä.
YHDYSVÄYLÄT	Yhdystie	Yhdistää haja-asutusalueet taajamiin tai ylempään tieverkkoon. Yhdistää tilat ja tontit ylem. tieverkkoon.	Tonttikatu	Palvelee viereistä maapohjaa (tontteja) yhdistäen siltä syntyvään liikenteen ylempään katuverkkoon.

Yleiset tiet ovat edellä esitetyn luokituksen mukaan pääteitä, kokoojateitä tai yhdysteitä. Päätienä voi olla lähinnä valta- tai kantatie. Kokoojatienä on yleensä muu maantie tai liikenteellisesti tärkeä paikallistie. Yhdystienä on tavallisesti paikallistie.

Yksityiset tiet voivat taajama-alueella kuulua mihin toiminnalliseen luokkaan tahansa riippuen asemastaan ja merkityksestään. Taajaman ulkopuolella yksityiset tiet ovat yleensä joko yhdysteitä tai edellä esitettyihin toiminnallisiin luokkiin kuulumattomia kiinteistöteitä.

Ohjelunnoksessa annetaan eri yhteyksissä erikseen moottoriteitä ja moottoriliikenneteitä koskevia ohjeita. Tämä on tarpeellista, koska nämä tiet ovat luonteeltaan sekaliikenneteistä poikkeavia.

Tien geometrista suunnittelua koskevissa ohjeissa tiet ovat ympäristöolosuhteiden huomioon ottamiseksi jaoteltu taajaman ulkopuolisiin ja taajama-alueella sijaitseviin teihin. Taajama-alueella tarkoitetaan näissä ohjeissa sellaista tiheään asuttua aluetta, jossa rakennukset, rakenteet ja lähellä toisiaan olevat liittymät rajoittavat tuntuvasti tien suuntauksen suunnittelua liikenteen kannalta tarkoituksenmukaisimmalla tavalla.

Teiden toiminnallisen luokituksen käyttöön ottamisen tarve on ilmeinen. Edellä mainituksa tvh:n kirjeessä esitettyjä eri tieluokkien nimityksiä olisi kuitenkin syytä tarkistaa ennen näiden ohjeiden sisällyttämistä normeihin.

Mitoitusnopeudella ohjelunnoksessa tarkoitetaan nopeutta, josta nykyään käytetään nimitystä ohjenopeus. Toimikunta on pitänyt uutta nimitystä osuvampana, koska ko. nopeutta käytetään nimenomaan tien mitoituksen lähtökohtana samalla tavalla kuin esim. mitoitusajoneuvoa.

Ohjenopeus-termistä esitetään luovuttavaksi, koska sen voidaan tulkita tarkoittavan nopeutta, jolla tien käyttäjän tulisi ajaa.

Tielinjan ja tasausviivan suunnittelua koskevissa kohdissa on käsitelty erillisissä kapaleissa elementtiyhdistelmien muodostamista siltojen kohdalla. Näin on menetelty toisaalta käsitelyn selkeyden vuoksi ja toisaalta siksi, että ne ovat erillisiä kokonaisuuksia. Niiden esittämistä geometrisessa suunnittelussa on kuitenkin pidetty tärkeänä, koska sillat ovat yleensä tielinjan ja tasausviivan suunnittelussa pakkopisteitä ja koska tarkoituksenmukaisella elementtien valinnalla voidaan merkittävästi vaikuttaa sillan suunnitteluun ja rakentamiskustannuksiin.

Pysähtymismatkan ja näkemien mitoitusarvot

Pysähtymismatkan ja näkemien mitoitusarvojen käsittelyn yhteydessä on ohjelunnokseseen sisällytetty runsaasti perusteluja, joilla on pyritty selventämään mahdollisimman yksityiskohtaisesti näitä tärkeitä peruskäsitteitä. Tätä käsittelytapaa on pidetty tarkoituksenmukaisena, jotta ohjeiden käyttäjällä olisi selvä yleiskäsitys siitä, miten annettuja ohjearvoja olisi sovellettava eri tarkoituksiin.

Pysähtymismatkan käsittelyn yhteydessä on todettu tarpeelliseksi erotella toisistaan vähimmäis- ja mitoituspysähtymismatka. Ko. pysähtymismatkojen voidaan katsoa tarkoittavan kahta eri asiaa: vähimmäispysähtymismatka on vallitsevien olosuhteiden perusteella määrätty lyhin pysähtymismatka ja se saattaa olosuhteista riippuen vaihdella hyvin laajoissa rajoissa, kun mitoituspysähtymismatka puolestaan tarkoittaa normaaliolosuhteissa käytännössä määrättyä pysähtymismatkaa, jonka perusteella lasketaan geometrisessa suunnittelussa käytettäviä mitoitusarvoja.

Näkemien käsittely on suoritettu vastaavasti kuin pysähtymismatkan eli ensiksi on määritetty se matka, jota näkemä tarkoittaa sekä ko. matkan riippuvuus eri tekijöistä ja toiseksi on näkemälle määrätty normaaliolosuhteita vastaavat mitoitusarvot.

Tien geometrian tasaisuus

Tien geometrisen muodon tasaisuudella tarkoitetaan sitä, ettei tieolosuhteissa tapahdu elementtien suurista vaihteluista johtuvia äkillisiä muutoksia.

Geometrian tasaisuus voidaan saavuttaa määräämällä tienopeudelle vähimmäis- ja enimmäisarvo eli sallittu tienopeusalue sekä tienopeuden muutoksen enimmäisarvo. Likimäärin samaan tulokseen on kuitenkin todettu päästävän antamalla suunnitteluelementeille ohjerajat, jolloin saavutetaan käytännön suunnittelua silmälläpitäen myös se etu, ettei geometrian tasaisuuden tutkimiseksi tarvitse piirtää aina tienopeusdiagrammia.

Tien geometrian tasaisuuden tärkeys johtuu sen merkittävästä vaikutuksesta liikenneturvallisuuteen. Geometrian tasaisuuden vaikutus turvallisuuteen on tielinjan, tasausviivan ja poikkileikkauksen osalta yleensä seuraava:

- tielinjan kaarresäteen suuruus ei ole sinänsä ratkaiseva. Yksinäinen jyrkkä kaarre sitä vastoin kerää helposti onnettomuuksia. Taulukosta 2 voidaan todeta, että onnettomuusriski alkaa kasvaa, kun pienisäteisiä kaarteita on kilometrin matkalla vähemmän kuin kaksi
- tasausviivan kaarista ovat kuperat pyöristykset tärkeimmät liikenneturvallisuuden kannalta, mutta tutkimuksissa ei ole pystytty osoittamaan tasausviivan pyöristyssäteiden, näkemien ja onnettomuustiheyksien riippuvuuksia. Saksalaisten tilastojen mukaan joka viides ohitusonnettomuus johtaa henkilövahinkoihin tai kuolemaan ja ohitusonnettomuuksista on n. 40 % arvioitu johtuvan riittämättömistä näkemistä tien poikkileikkauksen nopea muuttuminen, kapeat sillat ja yleensä rajoittavat sivuesteet lisäävät onnettomuuksia

2.21 Pysähtymismatka

Vähimmäispysähtymismatka

Pysähtymismatkan vähimmäispituus voidaan määrätä vallitsevien olosuhteiden perusteella ottamalla yksityiskohtaisesti huomioon ajoneuvon alkunopeus, reaktioaika, kitkakerroin ja tien pituuskaltevuus. Reaktioajalle ja kitkakertoimelle on esitetty eri olosuhteita vastaavia arvoja ja vaihtelurajoja, jotka perustuvat käytännössä suoritettuihin tutkimuksiin (vrt. kohta A.4).

Vähimmäispysähtymismatkalta on normiedotuksessa esitetty kaava, jolla pysähtymismatkan pituus voidaan likimääräisesti laskea. Ko. kaava on tarkassa muodossaan seuraava

$$L_p = t_r \cdot \frac{v}{3,6} + \int_0^t \int_0^t a(t) dt dt \quad (1)$$

Tämä integraalikaava on teoreettisesti täysin tarkka, mutta käytännössä sitä ei voida kuitenkaan käyttää, koska yleensä ei tunneta funktiota $a(t)$ eli hidastuvuuden suuruutta eri jarrutusvaiheissa. Samoin ei myöskään ole laskelmia suoritettaessa tarkkoja kitkakertoimen (f) arvoja käytettävissä. Pysähtymismatkan laskemiskaavan likimääräisyydellä ei käytännön kannalta ole mitään oleellista merkitystä, sillä hidastuvuuden ja kitkakertoimen arvot perustuvat kuitenkin likimääräisiin reaktioaikaa ja kitkaa koskeviin olettamuksiin.

Pysähtymismatkan vähimmäispituuden laskemiskaavasta on todettava, että samaa kaavaa käytetään useimmissa ulkomaisissa normeissa.

Kaarteita kpl/km	Onnettomuuksia kpl/milj.ajon.km			
	R ≤ 150 m	R = 150...300 m	R = 300...600 m	R > 600 m
0,5	5,3	4,2	1,9	0,6
1	4,0	3,3	1,4	0,7
2	1,9	1,2	0,9	0,8
3	1,6	0,8	0,8	0,8

Taulukko 2

Erisäteisten kaarteiden lukumäärän vaikutus onnettomuustiheyteen aksiajokaistaisella tiellä

Mitoituspysähtymismatka

Mitoituspysähtymismatkan arvot ovat määrätty käytännössä suoritettujen jarrutuskokeiden perusteella sellaisiksi, että ohjeissa annettua lyhyemmällä matkalla ajoneuvojen kuljettajat eivät mielellään ajoneuvoaan pysäytä, koska he pitävät tehokkaampaa jarrutusta vastaavaa hidastuvuutta epämurkavana ja pelkäävät menettävänsä ajoneuvon hallinnan jarrutuksen aikana (Kohta A.4).

Mitoituspysähtymismatkan pituudet on määrätty normaaliolosuhteissa, joilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sellaisia kesäolosuhteita, jolloin näkyvyys sekä tien pinnan ja renkaiden välinen kitka ovat riittävät ja tie on vaakasuora. Tällaisissa olosuhteissa voidaan ajoneuvo pysäyttää lyhyemmälläkin matkalla, mutta toisaalta esim. talviolosuhteissa jäisellä tiellä voi pysähtymismatka olla huomattavastikin pitempi.

2.22 Näkemät ja näkemäalueet

Yleistä

Ohjeluonnoksessa on näkemien käsittely suoritettu siten, että kunkin näkemän lisäksi on määriteltä sitä vastaava mitoitusnäkemä. Mitoitusnäkemät on otettu uusina käsitteinä mukaan ohjeluonnokseen siksi, että niitä käyttämällä on suunnitteluelementtien mitoitusarvojen ja näkemäalueiden määrittäminen sekä näkemäolosuhteiden toteaminen saatu yksikäsitteiseksi. Ilman mitoitusnäkemien määrittelyä ei samaan yksikäsitteisyyteen päästäisi, koska näkemien pituudet vaihtelevat eri tekijöistä riippuen hyvin laajoissa rajoissa. Näkemien määrittely yleisesti on puolestaan tarpeellinen siksi, että tällöin on voitu selvittää näkemän pituuteen vaikuttavat tekijät sekä pituuden määrittäminen normaalista poikkeavissa olosuhteissa.

Mitoituspysähtymis-, mitoituskohtaamis- ja mitoitusliittymisnäkemää käytetään elementtien mitoitusarvojen määrittämiseen sekä näkemäolosuhteiden toteamiseen. Mitoitusohitusnäkemää käytetään sitä vastoin pelkästään näkemäolosuhteiden arvosteluun. Mitoitusohitusnäkemän perusteella ei elementeille ole määrätty mitoitusarvoja siksi, että ko. näkemä on niin pitkä, että sen matkalla saattaa tiellä olla useita eri elementtejä ja toisaalta siksi, että kysymykseen tulevat kuperat pyöristyskaaret olisivat kohtuuttoman suuria. Näiden perusteluiden kohdan 2.24 mukaan esim. mitoitusnopeutta 100 km/h vastaava mitoitusohitusnäkemän perusteella laskettu kuperan pyöristyskaari olisi 193 000 m. Koska tien pinta ei ole kuitenkaan tällaisen kaaren kohdalla näkyvissä ohitukseen tarvittavan pituiselta osalta.

Mitoituspysähtymisnäkemä

Mitoituspysähtymisnäkemän mittaaminen on esitetty suoritettavaksi kuperassa taitteessa voimassa olevasta käytännöstä poiketen. Silmäpisteen korkeus on ehdotettu muutettavaksi 1,2 m:stä 1,1 m:iin. Tämä muutosehdotus perustuu suoritettuihin tutkimuksiin, joita on selostettu yksityiskohtaisesti perusselvitysten kohdassa A5. Lisäksi on esteen korkeutena otettu 0,1 m:n ohella käyttöön korkeus 0,0 m eli tien pinta. Esteen korkeutena ei ole voitu käyttää pelkästään 0,0 metriä, koska se johtaisi kohtuuttoman suuriin kuperien pyöristyskaarien vähimmäisarvoihin ja samalla suuriin kustannuksiin.

Mitoituskohtaamisnäkemä

Mitoituskohtaamisnäkemän mittaaminen kuperassa pyöristyksessä on esitetty tehtäväksi siten, että näkösäde piirretään silmäpisteestä silmäpisteeseen. Teoreettisesti oikeaa mitoitustapaa, joka olisi silmäpisteestä toisen ajoneuvon korkeimpaan kohtaan, ei ole ehdotettu seuraavista syistä: ohjeluonnoksessa oleva mitaustapa on yksinkertainen, sillä se on vastaava mitoituspysähtymisnäkemän mittaamisen kanssa esteen korkeuden ollessa 0,0 m. Käyttämällä ajoneuvon korkeutena 1,1 m eikä esim. 1,4 m ollaan lopputuloksessa varmemmalla puolella. Lisäksi on otettava huomioon poikkeuksellisen matalat ajoneuvot, kuten esim. urheiluautot, joiden tulee myös näkyä ohjeluonnoksessa oletetussa kohtaamistilanteessa. Ehdotettua kohtaamisnäkemän mittaamistapaa puoltaa myös se, että tällöin muodostuu näköyhteys silmästä silmään, jolloin silmäpisteen yläpuolella yleensä oleva ajoneuvon osa, noin 30 cm, jää kohtaamisnäkemän muodostumishetkellä näkyviin helpottaen toisen ajoneuvon nopeuden arviointia.

Mitoitusliittymisnäkemä

Mitoitusliittymisnäkemän merkitys on sama kuin vto:ssa esitetyn ns. vapaan näkemän. Ko. näkemälle on ehdotettu uutta nimitystä siksi, että sen on katsottu kuvaavan paremmin liittymätoimintoja. Liittymätoimintoina on ko. näkemän yhteydessä kysymys joko liittymisestä toisen tien liikennevirtaan tai risteäminen sen kanssa. Mitoitusliittymisnäkemän pituuden määrittämisperusteita on selostettu suhteellisen lyhyesti, sillä sitä tullaan käsittelemään seikkaperäisesti liittymien suunnitteluohteissa.

Mitoitusohitusnäkemä

Mitoitusohitusnäkemän pituuden määrittämisperusteita on käsitelty perusselvitysten kohdassa A7.a "Näkemien määrittämisperusteet" ja koh-

Mitoitusnopeus (ohjenopeus)	Normiehdotus					V T O			
	Mitoitus- pys.matka ja mitoi- tuspys. näkemä (m)	Mitoitus- koht. näkemä (m)	Mitoitus- ohitus- näkemä (m)	Mitoitus- liittymis- näkemä (m)		Pys.matka ja pys. näkemä (m)	Koht. näkemä (m)	Ohitus- näkemä (m)	Vapaa näkemä liitty- missä (m)
	(km/h)			Norm.	Poikk.				
40	40	30		140	80	45	90	150	60
50	55	110	400	170	110	60	120	210	80
60	75	150	450	200	140	75	150	290	100
70	95	190	500	240	170	90	180	380	120
80	120	240	550	280	200	110	220	490	150
90	150	300	600	320	240	130	260	620	190
100	180	360	650	370	280	150	300	760	240
110	215	430	700			180	360	950	300
120	250	500	750			210	420	1150	360
130	295	590							
140	355	710							

Taulukko 3

Normiehdotuksen ja VTO:n mukaiset pysähtymismatkan ja näkemien mitoitusarvot

dassa A7.b "Ohittaminen ja ohitusnäkemä". Mitoitusohitusnäkemälle on esitetty pyöristettyjä ohjearvoja, koska ko. näkemän pituus riippuu lukuisista eri tekijöistä ja olosuhteista. Toisaalta mitoitusohitusnäkemän pituuden tarkalla määrittämisellä ei ole merkitystäkään, koska sitä käytetään vain näkemäolosuhteiden toteamiseen, jossa näkemäpituuden pienet vaihtelut eivät sanottavasti vaikuta tulokseen. Mitoitusohitusnäkemän likimääräisyydellä ei ole käytännön kannalta merkitystä myöskään siksi, että tietyn pituisen ohitusnäkemän esiintymismäärä riippuu suhteellisen tarkasti jonkin toisen ohitusnäkemäpituuden esiintymismäärästä (vrt. kohta A6). Esimerkiksi jos tiellä on 500 m:n ohitusnäkemän mukaan määrätty näkemäprosentti 30 %, on sillä yleensä noin 20 % 600 m:n ohitusnäkemää.

Mitoitusnäkemien ja pysähtymismatkan pituuksien vertailu

Taulukossa 3 on verrattu normiehdotuksen mitoituspysähtymismatkaa ja mitoitusnäkemää vto:n vastaaviin arvoihin. Mitoituspysähtymisnäkemän pituuden voidaan todeta pienillä mitoitusnopeuksilla olevan pienempi ja suurilla nopeuksilla suurempi kuin vto:ssa annettu pysähtymisnäkemä. Mitoituspysähtymisnäkemät perustuvat käytännössä suoritettujen kokeiden tuloksiin.

Ohjeluoennoksessa ehdotetut mitoitusliittymisnäkemän pituudet ovat pitemmät kuin vto:ssa annetut vapaat näkemät. Mitoitusliittymisnäkemän pituudet perustuvat tutkimuksiin, joissa on selvitetty pääsuunnan sellaista ajoneuvoväliä, johon sivutieltä tuleva voi liittyä tai jonka aikana sivutieltä tuleva voi mennä pääsuunnan liikennevirran poikki. Nopeustutkimuksissa on

lisäksi todettu, että ajoneuvojen kuljettajat eivät sanottavasti hiljennä nopeuttaan liittymien kohdalla ja että myös mitoitusnopeutta suurempia nopeuksia käytetään. Näiden näkökohtien perusteella määrätty mitoitusliittymisnäkemän pituudet ovat lähempänä kansainvälistä käytäntöä kuin vto:ssa esitetyt vapaat näkemät.

Näkemäolosuhteita koskevat vaatimukset

Näkemävaatimuksina on esitetty, että kaikilla teillä täytyy olla jokaisessa kohdassa mitoituspysähtymisnäkemä ja kaikissa tasoliittymissä täytyy olla mitoitusliittymisnäkemä. Nämä vaatimukset perustuvat turvallisuusnäkökohtiin siten, että kaikissa tilanteissa täytyy ajoneuvo voida pysäyttää ennen tiellä olevaa estettä ja kaikissa liittymissä täytyy liittymän vaatiman ajosuorituksen olla turvallinen.

Ohjeluoennoksessa annetut mitoitusohitusnäkemän esiintymistä koskevat vaatimukset ovat suuntaa antavia. Mitoitusohitusnäkemän esiintymiselle ei ole annettu ehdottomia vähimmäisarvoja, koska vaikeat maasto-olosuhteet voisivat tällöin johtaa kohtuuttomiin kustannuksiin.

Ohituskelpoisten osuuksien tasaista jakautumista koskeva suositus perustuu ajopsykologisiin näkökohtiin. Mikäli ohitusnäkemä on pitkällä matkalla rajoitettu, saattaa ajoneuvon kuljettaja ryhtyä suorittamaan ohitusta tähän tarkoitukseen sopimattomassa tien kohdassa. Ohituskelpoisten osuuksien tasaisella jakautumisella voidaan lisätä myös liikenteenvälityskykyä ja välttää jononmuodostumista.

Mitoitusohitusnäkemän esiintymismäärää ja -tiheyttä koskevia vaatimuksia tulisi vastaisuudessa tarkentaa, mikä edellyttää lisätutkimusten suorittamista.

Näkemäalue kaarteessa

Näkemäalueiden määräämistä koskevassa ohjeluonnoksen osassa mainitaan, että kaarteessa voidaan näkemäalue määrätä mitoitusohitusnäkemän perusteella. Aikaisemmin on ollut harvinaista ohitusnäkemän käyttäminen lähtökohtana näkemäalueiden raivaamisessa. Vto:n mukaan ei tälle ole kuitenkaan estettä. Mitoitusohitusnäkemää on ehdotettu käytettävän näkemäalueiden mitoituksessa siksi, että joissakin tapauksissa voidaan vähäisin kustannuksin, esim. näkemäalueen raivauksella, muodostaa tielle ohituskelpoinen osuus.

Normiehdotuksen kuvassa 4 "Näkemäalueen rajan määrääminen tien kaarrekohdassa" käytetään likimääräistä menetelmää, koska näkemää ei mitata tielinjaa pitkin vaan jänteenä. Tällä likimääräisyydellä ei käytännössä ole lopputuloksen kannalta merkitystä. Ero on esimerkiksi pysähtymisnäkemän osalta yleensä alle metrin.

Näkemäalue tasoliittymässä

Näkemäalueiden mitoitus on normiehdotuksessa esitetty tehtäväksi periaatteessa samoin kuin vto:ssa. Vapaan näkemän tilalla on kuitenkin käytetty luonnoksessa määriteltäviä liittymisnäkemää. Lisäksi on muutoksena ehdotettu mahdollisuutta mitata liittymisnäkemä myös poikkeuksellisten etäisyyksien päästä toisen tien reunasta. Poikkeukselliset ohjearvot perustuvat tutkimukseen, jossa on selvitetty päätielle tulevien ajoneuvojen pysähtymisetäisyyttä päätien reunasta. Poikkeuksellista ohjearvoa käyttäen on joissakin tapauksissa mahdollisuus välttää kohtuuttomia kustannuksia.

2.23 Tielinjan suunnittelu

Käsittelytapa

Tielinjan suunnittelua koskeva osa on normiluonnoksessa käsitelty siten, että ensiksi on tarkasteltu kutakin elementtiä ajodynamiikan, näkemäolosuhteiden ja tien ulkonäön kannalta, jonka jälkeen on selostettu elementtiyhdistelmien muodostamista eri tyypisillä teillä sekä peräkkäisten elementtien yhdistämistä. Käsittely on suoritettu em. tavalla lähinnä siksi, että näin on voitu yksityiskohtaisesti tarkastella kunkin elementin luonteenomaista vaikutusta edellä esitettyihin lähtökohtiin riippumatta tien luokasta. On huomattava, että esim. klotoidin vaikutus ajodynamiikkaan on riippumaton tien luokasta, mutta sitävastoin klotoidin käyttö on erilaista eriluokkaisilla teillä.

Suora tielinja

Suoran pituuksille on arvion perusteella annettu ohjearvot, joita pitempiä suoria tieosia ei yleensä pitäisi käyttää. Moottoriteillä sekä muilla neli- ja useampiajokaistaisilla teillä ko. enimmäisarvo on 3000 m ja muilla teil-

lä 2000 m. Suoran enimmäispituuksien suhde on määrätty siten, että suoran tieosan ajamiseen kuluvat ajoajat olisi samaa suuruusluokkaa. Ko. ajoaika on arvioitu eri tyyppisten teiden suunnittelussa yleensä käytettävien mitoitusnopeuksien perusteella.

Ympyräkaaren säteen vähimmäis- ja ohjearvot

Ympyräkaaren säteen vähimmäis- ja ohjearvot on laskettu ajodynaamisten näkökohtien perusteella. Vähimmäisarvot on laskettu ajodynaamisella peruskaavalla, jossa sivukaltevuudelle ja sivukitkakertoimelle on otettu niiden enimmäisarvot (vrt. Kohta A11). Kaarresäteen ohjearvot on laskettu käyttämällä sivukaltevuuden ja sivukitkakertoimen summasta ($q + f$) ohjearvojen alarajalla $2/3$ ja ylärajalla $1/3$ kaarresäteen vähimmäisarvojen ($q + f$):stä. Nämä rajat on valittu nopeustutkimuksien perusteella silmälläpitäen ajomukavuutta.

Ympyräkaaren säteelle on määrätty ohjearvot edellä mainittujen ajodynaamisten näkökohtien perusteella. Ohjearvoja on esitetty siksi, että niitä käyttämällä vältetään tielinjan kaarevuuden äkilliset muutokset. Kaarevuuden tasaisuutta on ohjeluonnoksessa painotettu johtuen sen merkittävästä vaikutuksesta liiketurvallisuuteen (ks. Kohta 2.20).

Ympyräkaaren säteen ohjeelliset vähimmäisarvot tasoliittymien kohdalla on valittu ottaen huomioon näkemäolosuhteiden muodostuminen ja sivukaltevuuden suuruus liittymän kohdalla. Kaarresäteiden määräämisperusteita käsitellään yksityiskohtaisemmin liittymien suunnittelusta annettavissa ohjeissa.

Taulukkoon 4 on koottu normiehdotuksessa, vto:ssa ja muutamissa ulkomaisissa normeissa esitetyt kaarresäteen vähimmäisarvot. Normiehdotuksen vähimmäisarvot ovat lähellä muiden maiden normeissa annettuja säteiden poikkeuksellisia vähimmäisarvoja. Ulkomaiset arvot ovat pienempiä kuin normiehdotuksessa esitetyt arvot, mikä johtuu sivukaltevuuden ja sivukitkakertoimen enimmäisarvojen erilaisuudesta.

Normiehdotuksen kuvassa 7 on annettu nomogrammi, jolla voidaan määrätä ympyräkaaren säteen vähimmäisarvo näkemävaatimusten perusteella. Nomogrammia käytettäessä voi lähtökohtana olla mikä näkemäpituus tahansa. On kuitenkin huomattava, että nomogrammi on tehty olettaen tasausviiva tarkastelukohdassa suoraksi.

Klotoidin parametrin ohjearvot

Klotoidin parametrilla on normiehdotuksessa annettu vähimmäis- ja enimmäisarvot, joiden välillä parametri yleensä valitaan. Parametrin valinta suoritetaan kussakin tapauksessa

Mitoitusnopeus (km/h)	Normi- ehdotus	VTO		Saksa		Ruotsi	
	Vähimmäis- arvo (m)	Vähimmäis- arvo (m)	Poikkeuks. vähimmäis- arvo (m)	Vähimmäis- arvo (m)	Poikkeuks. vähimmäis- arvo (m)	Vähimmäis- arvo (m)	Poikkeuks. vähimmäis- arvo (m)
40	60	130	100	90	70	100	50
50	110	200	150	150	120	150	75
60	170	300	200	250	200	200	100
70	250	400	250			250	150
80	350	500	350	500	400	300	200
90	500	650	450			400	250
100	650	800	550	800	600	500	300
110	850	950	650			600	350
120	1100	1100	750			700	400
130	1400						
140	1700						

Taulukko 4

Kaarresäteen vähimmäisarvoja

ottaen huomioon paikalliset olosuhteet ja kaarevuussuhteista annetut ohjeet.

Normiluonnoksen kuvaan 9 on katkoviivalla merkitty klotoidin parametrin ohjearvot liittymän kaarteissa. Liittymäkaarteissa voidaan käyttää lyhyempiä siirtymäkaaria siksi, että tutkimusten mukaan on ajoneuvon kuljettaja valmis liittymäkaarteissa tinkimään ajodynamiisesta mukavuudesta.

2.24 Tasausviivan suunnittelu

Käsittelytapa

Tasausviivan suunnittelua koskeva normaasi on käsitelty samoin kuin tielinjan suunnittelu eli ensiksi on käsitelty kutakin elementtiä ajodynamiikan, näkemäolosuhteiden ja tien ulkonäön kannalta, jonka jälkeen on selostettu elementtiyhdistelmien muodostamista eri tyyppisillä teillä.

Pyöristyskaari

Normiehdotuksessa on kuperan pyöristyskaaren säteelle esitetty näkemien mukaan lasketut vähimmäis- ja ohjearvot sekä ajodynamiikkaan ja ulkonäköseikkoihin perustuvat vähimmäisarvot.

Ajodynamiikkaan perustuva pyöristyssäteiden vähimmäisarvo on määrätty käyttäen sallittuna keskipakoiskiintyvyytenä $0,5 \text{ m/s}^2$. Keskipakoiskiintyvyys (C) voidaan laskea kaavasta $C = v^2/S$. Merkitsemällä $C = 0,5 \text{ m/s}^2$ ja muuttamalla nopeuden laatu km/h:ksi saadaan normiehdotuksessa annettu kaava

$$S_{\min} = \frac{v^2}{0,5 \cdot 3,6^2} = 0,154 \cdot v^2 \quad (1)$$

Ajodynamiikan perusteella määrätty vähimmäisarvo tulee kysymykseen vain silloin, kun taitekulma on hyvin pieni. Tällainen tasausviivan taite-

kohta ei rajoita näkemää pienestä säteestä huolimatta. Mitoituspysähtymisnäkemän mukaiset pyöristyssäteiden vähimmäisarvot ovat muissa tapauksissa huomattavasti suurempia kuin ajodynamiiset vähimmäisarvot esim. mitoitusnopeudella 100 km/h saadaan näkemän perusteella vähimmäisarvo 9000 m ja ajodynamiikan perusteella arvo 1540 m.

Tien ulkonäköseikkojen perusteella voidaan pyöristyssäteelle määrätä vähimmäisarvo siten, että pyöristyskaaren pituus on vähintään $2 \cdot V \text{ (m)}$, jossa V on mitoitusnopeus (km/h). Ko. pyöristyssäteiden vähimmäisarvon määräämistapa on lähinnä suuntaa antava ja sitä käytettäen vältetään yleensä tasausviivan muodosta johtuva kulmikuuden vaikutelma.

Normiehdotuksessa on tasausviivan kuperille pyöristyssäteille esitetty kaksiajokais- taisia teitä varten ohjearvot. Ohjearvojen alarajana ovat vähimmäisarvot ja ylärajan pyöristyssäteet on laskettu mitoituspysähtymisnäkemän perusteella olettaen, että kuljettaja näkee vapaan tienpinnan. Kohtaamisnäkemän määritelmästä johtuen ohjearvojen ylärajan pyöristyssäde on samalla mitoituskohtaamisnäkemän perusteella määrätyn pyöristyssäteiden suuruinen. Em. ohjearvot johtavat pienempiin kuperiin pyöristyskaariin kuin mitä tähän asti on käytetty. Periaatetta on pidetty tarkoituksenmukaisena, koska tällaisella mitoituksella saadaan kuperien pyöristysten välille enemmän ohituskelpoisia osuuksia.

Myös kuperissa taitteissa voitaisiin saavuttaa ohituksen kannalta riittävät näkemäolosuhteet mikäli käytettäisiin tarpeeksi suuria pyöristyskaaria. Pyöristyskaarille tulisi ohitusnäkemän perusteella kuitenkin niin suuret vähimmäisarvot, ettei niitä ole tarkoituksenmukaista käyttää. Esimerkiksi mitoitusnopeutta

100 km/h käyttäen saataisiin mitoitushitusnäkemän perusteella pyörityssäde $s = \frac{v^2}{2,2} = \frac{650^2}{2,2} = 193\ 000\text{ m}$.

Em. pyörityssäde on laskettu olettaen, että näkemä mitataan tienpintaan, jolloin ohitusseen on varmistuttu, ettei vastaantulevaa ilmaan nu ohituksen aikana. Lisäksi on otettava huomioon, että mitoitushitusnäkemä on yleensä pitempi kuin pyörityskaari, joten mitoitushitusnäkemän matkalla voi olla useampia tasausviivan elementtejä kuin yksi kupera pyörityskaari. Em. näkökohtien perusteella on päädytty siihen, että käyttämällä ohjeluonnoksessa annettuja ohjearvoja kuperissa pyörityskaarissa, saavutetaan niiden välillä ohitusta ajatellen edullisemmat näkemäolosuhteet.

Taulukossa 5 on esitetty normiehdotuksen, VTO:n sekä eräiden muiden maiden normien pyörityssäteiden vähimmäisarvoja. Vähimmäisarvot poikkeavat toisistaan edellä mainittujen pysähtymismatkan sekä silmäpisteen ja tiellä olevan esteen korkeuden eri suuruuden vuoksi.

Pituuskaltevuuden enimmäisarvot

Pituuskaltevuuden määrittämiseksi ei ole tarkkaan perusteltavissa olevaa teoreettista lähtökohtaa. Normiehdotuksessa annetut enimmäisarvot perustuvat käytännössä saatuun kokemukseen ja ulkomaisiin normeihin sekä liikenteenvälityskykyyn, turvallisuuteen ja liikennekustannusten muodostumiseen liittyviin näkökohtiin. Pituuskaltevuudessa on 4 % sellainen kansainvälinen raja, jonka ylittämistä pyritään välttämään, jos se on kohtuullisilla kustannuksilla mahdollista.

Liittymien kohdalla ovat pituuskaltevuuden enimmäisarvojen valintaan vaikuttaneet seuraavat näkökohdat: liittymään pysähtyneen ajoneuvon liikkeellelähtömahdollisuus ylämäkeen, liittymäajon jälkeen tapahtuvan kiihdytysvaiheen

aiheuttama häiriövaikutus muulle liikenteelle sekä jarrutusmatkojen pidentyminen lähestyttyessä liittymää alamakeen. Pituuskaltevuuden enimmäisarvoja liittymien kohdalla selvitetään seikkaperäisemmin liittymien suunnitteluohjeissa.

2.25 Tien pinnan sivu- ja viettokaltevuus

Ajoradan sivukaltevuus

Ajoradan sivukaltevuus tielinjan suoralla osalla on sama kuin kuivatusnormeissa.

Ajoradan sivukaltevuus kaarteissa on ehdotettu määrittäväksi eri tavoin nopeusrajoituksettomalla ja nopeusrajoitetulla tiesallalla. Nopeusrajoituksettomalla tiesallalla on sivukaltevuuden määrittämistä varten sivukaltevuuden mitoitushitusgrammiin piirretty porrasviiva, jota pienempiä kaltevuuden arvoja ei vapaan nopeuden alueella käytetä. Perusteluna ehdotukselle on se, että ajoneuvojen kuljettajat valitsevat nopeutensa yleensä pääsääntöisesti kaarresäteen mukaan riippumatta tien mitoitushitusnopeudesta. Porrasviivan arvot on määritetty kohdassa A11 esitetyn nopeuskaarresädediagrammin ja sallittujen sivukitkakertoimien arvojen perusteella käyttäen kaavaa

$$q = \frac{v^2}{127 \cdot R} - f \quad (2)$$

jossa q = sivukaltevuus (-)
 V = mitoitushitusnopeus (km/h)
 R = ympyräkaaren säde (m)
 f = sivukitkakerroin

Pienimpien kaarresäteiden kohdalla kaavalla 2 saadaan suurempia sivukaltevuuden arvoja kuin porrasviiva osoittaa. Tämä johtuu siitä, ettei kaarresäteen perusteella määrittyvää sivu-

Mitoitusnopeus (km/h)	Normiehdotus		VTO			Saksa		Ruotsi		
	Kupera	Kovera	Kupera		Kovera	Kupera	Kovera	Kupera		Vägplan 70
	Väh. arvo	Väh. arvo	Väh. arvo	Poikk. väh.	Väh. arvo	Väh. arvo	Väh. arvo	Väh. arvo	Poikk. väh. arvo = koveran väh. arvo	
40	450	600	850	300	800	1500	1000	1000	500	
50	800	1000	1400	900	1100	2000	1500	2000	1000	
60	1500	1500	2300	1400	1500	3000	2000	2500	1250	2000
70	2400	2100	3300	2000	2000			3000	1500	
80	3900	2800	4900	3000	2500	5000	3000	4000	2000	5000
90	6000	3500	6900	4200	3000			5000	2500	
100	9000	4300	9500	5800	3600	9000	5000	6000	3000	12000
110	12500	5200	13000	7800	4200			8000	4500	
120	17000	6300	17500	10500	5000			11000	5500	26000
130	23000	7600								
140	35000	9200								

Taulukko 5

Pyörityssäteiden vähimmäisarvoja

kaltevuuden arvoa taivutuslaitteet huomioon ottaen katsottu voitavan esittää suuremmaksi kuin ajoneuvon nopeusrajoitusalueella sivukaltevuus esitetään määrättäväksi kaarresäteen ja nopeusrajoitusarvon osoittaman nopeuden perusteella välittämättä nomogrammin porrassivivasta. Nopeusrajoitusalueella ajoneuvojen nopeudet yleensä lähellä suurinta sallittua nopeutta.

suurensivuvuuden nopeus

2.26 Poikkileikkauksen leveyden muutokset

suurensivuvuuden nopeus

Poikkileikkaustyyppien muutoskohdan

suunnittelu

Poikkileikkaustyyppien muutoskohdassa voidaan yleensä valita optisesti epäedullisia kohtia, vaikka muutos suoritettaisiin kuinka pitkällä matkalla tahansa. Esimerkiksi S-kaaren kohdalla saattaa syntyä joistakin kohdista tarkasteltuna kulkuväylän vaikeus. Leveyden muutokset onnistuu optisesti mielestä yleensä paremmin kaarteissa kuin suoralla tiellä. Ohje luonnoksessa on muutokselle pyritty valitsemaan sellainen pituus, jolla yleensä päästään optisesti riittävään hyvään tulokseen ja joka ei johda kohtuuttomiin kustannuksiin.

Ajoradan ja kestopäällystetyn pienta-

reen leveyden muutos on esitetty tehtäväksi suoraviivaisesti, mikäli muutos on pienempi kuin 1 % muutokseen käytettävästä matkasta. Näin on katsottu voitavan tehdä siksi, ettei 1 %:n kulu aiheuta tien leveyden muutoksessa jyrkän taitteen vaikutelmaa. Mikäli muutos on em. nopeampi, on muutoksen välimittojen laskeminen ehdotettu tehtäväksi sinifunktion arvojen mukaisesti. Sinifunktion käyttö on katsottu tarkoituksenmukaiseksi sen optisen edullisuuden vuoksi.

Ajoradan kaarrelevennys

Ajoradan kaarrelevennys on ehdotettu tehtäväksi silloin, kun kaarresäde on pienempi kuin 250 m. Tätä suurempi kaarresäde edellyttäisi alle 20 cm kaarrelevennystä, jolla ei ole katsottu olevan merkitystä ajosuoritukseen. Normiluonnoksessa on esitetty, että jos ajokaistojen leveys ylittää 3,50 m, lasketaan ylittävä osa jo levennykseksi. Tämä johtuu siitä, että 3,50 metrin ajokaistaleveys on riittävä henkilöautoille nopeuksilla ≤ 80 km/h ja kuorma-autoille nopeuksilla ≤ 70 km/h (Normit: kohta III.1) ja näitä nopeuksia ei yleensä ylitetä kaarresäteen ollessa pienempi kuin 250 m.

2.27 Ajoradan lisäkaistat

Nousukaistan tarpeellisuuden toteaminen

Nousukaistan tarpeellisuuden toteaminen on ehdotettu suoritettavaksi päätteillä siten,

että tavoitteena oleva palvelutaso saavutetaan nousun kohdalla sekä kokooja- ja yhdysteillä siten, ettei tien liikenteenvälityskyky ylitse nousun kohdalla. Pääteillä on nousukaistan tarpeellisuuden toteaminen katsottu tarkoituksenmukaiseksi tehdä em. tavalla siksi, että tien tasalaatuisuus säilyisi myös nousun kohdalla ottaen huomioon ajonopeudet ja liikenteen joustavuus. Vastaavaa palvelutasotavoitteeseen perustuvaa mitoitustapaa ei ole pidetty tarkoituksenmukaisena alempiluokkaisilla teillä, koska niillä voisi palvelutason ajonopeusraja osoittaa nousukaistan tarpeelliseksi, vaikka liikenteen joustavuus ei nousun takia häiriinny pienen liikennemäärän ja suhteellisen pienen mitoitusnopeuden vuoksi.

suurensivuvuuden nopeus

suurensivuvuuden nopeus

suurensivuvuuden nopeus

2.28 Tien geometrinen muoto

suurensivuvuuden nopeus

suurensivuvuuden nopeus

Käsitteilytapa

Kohdassa "Tien geometrinen muoto" käsitellään näköolosuhteiden muodostamista, optista ohjausta, optista joustavuutta, tien ja maaston sopuointua sekä eri näkökohtien merkityksen painotusta eri tyyppisillä teillä. Em. asioista varsinkin optisten näkökohtien huomioon ottamista koskevat ohjeet eivät ole aivan yksityiskohtaisia, koska toimikunta on katsonut tarkoituksenmukaiseksi käsitellä näitä asioita erillisissä ohjeissa, jotka tulevat täydentämään normaali-määräyksiä ja ohjeita.

Liikkuvien käännepisteiden syntyminen

Liikkuvia käännepisteitä syntyy, kun pituusleikkauksessa käytettävä pyörästys säde on suhteellisen pieni tielinjan kaarevuuteen verrattuna. Liikkuva käännepiste voi tulla kysymykseen kuvassa 1 esitetyissä neljässä eri tapauksessa,

Ehto sille, ettei liikkuvia käännepisteitä muodostu ainakaan lähelle silmäpistettä, voidaan johtaa seuraavasti. Mikäli silmäpiste sijaitsee ajoradan reunan kautta kulkevassa reunan muodostamassa avaruuskäyrää sivuavassa tasossa, voidaan muodostaa seuraava yhtälö (Kuva 2):

$$\frac{h}{e} = \frac{1}{S} = \frac{R}{S} \quad (3)$$

jossa h = silmäpisteen korkeus
 e = silmäpisteen etäisyys tien oikeasta reunasta

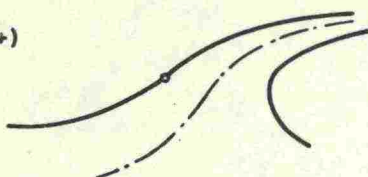
$\frac{1}{S}$ = kaarevuus pystytasossa
 (S = pyörästyskaaren säde)

$\frac{1}{R}$ = kaarevuus vaakatasossa
 (R = ympyräkaaren säde)

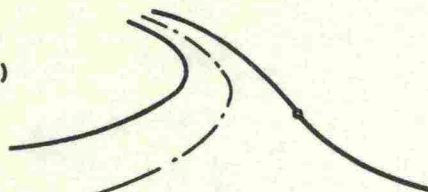
Kovera taite



A R (+) S (+)



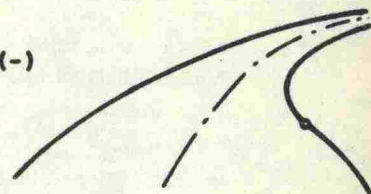
B R (-) S (+)



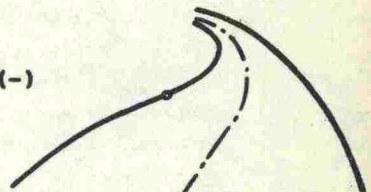
Kupera taite



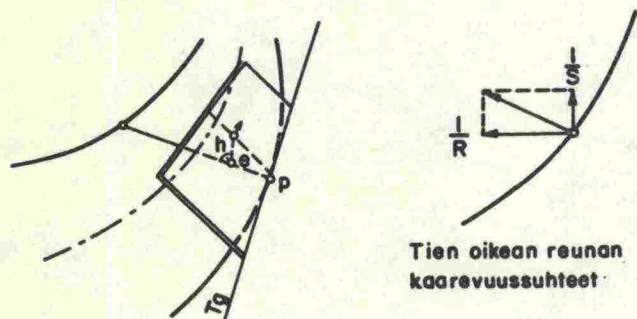
C R (+) S (-)



D R (-) S (-)



Kuva 1. Liikkuvan käänne pisteen muodostumistapaukset

Tien oikean reunan
kaarevuussuhteet

Kuva 2. Liikkuvan käänne pisteen muodostuminen

Tielinjan kaarevuus näyttää oikeasuuntaiselta, mikäli tien reunaa tarkastellaan reunaa sivuavan tason yläpuolelta. Tällöin on voimassa yhtälö

$$\frac{h}{e} > \frac{1}{S/R} \quad (4)$$

josta saadaan

$$\frac{S}{R} > \frac{e}{h} \quad (5)$$

Jos silmäpisteen korkeudeksi oletetaan 1,0 m, saadaan

$$\frac{S}{R} > e$$

Jos vastaavasti tarkastellaan tien vasenta reunaa, saadaan yhtälö 6 muotoon

$$\frac{S}{R} > B - e \quad (7)$$

jossa B = tien leveys

Kun otetaan huomioon normiehdotuksessa annettu

silmäpisteen paikka, joka on 1,5 m ajoradan oikeasta reunasta, saavat yhtälöt 6 ja 7 muodot

$$\frac{S}{R} > 1,5 \quad (8)$$

$$\frac{S}{R} > B - 1,5 \quad (9)$$

Kun kysymyksessä on kahteen suuntaan liikennöity tie, tulee optisessa mielessä tarkastella tien kumpaakin ajosuuntaa. Liikkuvien käänne pisteiden syntyminen selvitetään tällöin kaavalla 9, joka on annettu myös normiluonnoksessa.

2.3 SUUNTAUKSEN SUUNNITTELUN TYÖVAIHEET

2.30 Yleistä

Normiosan tarkoitus

Suuntauksen suunnittelun työvaiheissa käsitellään lähinnä suuntauksen suunnittelun yksityiskohtaisuutta ja vaihtoehtojen vertailua eri suunnitteluvaiheissa.

Normiluonnoksessa on käsitelty vaihtoehtojen vertailussa huomioon otettavia tekijöitä. Lisäksi on kiinnitetty huomiota myös vertailutekijöiden keskinäiseen painotukseen, josta ei aikaisemmin ole ollut olemassa mitään ohjeita. Painotuskertoimien yleispäteviä ohjeita ei ole annettu, sillä ne on määrättävissä kussakin tapauksessa erikseen riippuen paikallisista olosuhteista.

Vaihtoehtojen vertailua koskeva luku on normiluonnoksessa suhteellisen yleispiirteinen. Yksityiskohtaiset ohjeet voitaneen tehdä myöhemmin, kun perusselvityksiä on täydennetty.

0. Johdanto

Jäljempänä on suoritettu normiehdotuksen vertailua voimassa oleviin ohjeisiin sekä eräisiin ulkomaisiin normeihin. Vertailu on suoritettu sellaisten mitoitusarvojen osalta, jotka ovat määritetty eri lähteissä periaatteellisesti samalla tavalla. Näin ollen ei ole käsitelty esim. sellaisia suureita kuten pituuskaltevuuden enimmäisarvo, koska se riippuu tien luokituksesta, joka puolestaan on eri maissa hyvin erilainen. Vertailuun ei myöskään ole otettu mukaan sellaisia mitoitusarvoja, joita ei olisi saatu taulukoista tai graafisista kuvaajista, vaan joiden suuruuden määrittäminen perustuu matemaattiseen kaavaan, koska tällaisten arvojen laskeminen vaatisi tiettyjä oletuksia.

"Suuntauksen suunnittelun" normiehdotusta on vertailtu seuraaviin ohjeisiin, normeihin ja ohjekirjasiin:

- Vto: Valtioneuvoston päätös, joka sisältää teknilliset ohjeet yleisten teiden tekemisestä ja kunnossapidosta sekä ohjeet näkemäalueen määrittämisestä, 7.6.1962
- Ruotsi: Statens vägverk, Normer och anvisningar för vägars planläggning, utformning och utförande
Huvuddel II
Normalbestämmelser för vägars geometriska utformning, 1967
- Norja: Statens vegvesen, Vegnormaler Geometrisk utforming, 1968
- Tanska: Ministeriet for offentlige arbejder
Vejdirektoratet, Vejregler, 1964
- Länsi-Saksa: Strassenbau von A-Z
RAL
II. Teil: Linienführung (RAL-L), 1963
- Englanti: Ministry of Transport
Scottish Development Department
The Welsh Office,
Advisory Manual
The Layout of Roads in Rural Areas
1968
- Sveitsi: Schweizerischen Strassenfachmänner,
Die Normensammlung der Vereinigung

Policy: American Association of State Highway Officials (AASHO),

A Policy on Geometric Design of Rural Highways
1965

Vägplan: Statens offentliga utredningar
Kommunikationsdepartementet,
Vägplan 1970
1969

1. Pysähtymismatka ja -näkemä (Taulukko 1).

Pysähtymismatkan ja -näkemän mitoitusarvojen suuruus vaihtelee eri normeissa ja ohjeissa niin paljon, että kysymyksessä ovat suuruusluokaserot. Mitoitusarvojen erot johtuvat reaktioajan ja sallitun kitkakertoimien erilaisuuksista. Reaktioaikojen ja kitkakertoimien vertailua on tehty perusselvitysten kohdassa A.3.

Normiehdotuksessa esitetty mitoituspysähtymismatka on muuten samaa suuruusluokkaa muiden esitettyjen arvojen kanssa, mutta poikkeaa merkittävästi Ruotsin ja Englannin normien arvoista.

Normiehdotuksen ja Ruotsin normien arvoissa oleva ero johtuu eroista sallituissa kitkakertoimen arvoissa; Ruotsi 0,50 ja normiehdotus 0,35...0,30, sekä reaktioaikojen erosta; Ruotsi 3,0...1,5 s ja normiehdotus 2,0 s. Normiehdotuksen ja Ruotsin normien pysähtymismatkoja verrattaessa on huomattava, että Ruotsin normeissa on maininta kitkakertoimen arvosta 0,50, joka vastaa hidastuvuutta $4,9 \text{ m/s}^2$, että se tunnetaan matkustajista epämiellyttävältä ja tämän vuoksi suositellaan käytettäväksi kitkakerronta 0,265, joka vastaa hidastuvuutta $2,6 \text{ m/s}^2$. Normiehdotuksen mitoituspysähtymismatkat on määritetty käytännössä suoritettujen kokeiden perusteella sellaisiksi, ettei niitä vastaavat hidastuvuudet tunnu epämiellyttäviltä. Vägplanissa esitetyt pysähtymismatkan arvot vastaavat suhteellisen tarkasti normiehdotuksen arvoja.

Sytä siihen, miksi Englannin normeissa annetut pysähtymismatkan arvot ovat niin huomattavasti pitempiä kuin muissa lähteissä on esitetty, ei voida selvittää, koska Englannin normeissa ei ole annettu ko. pysähtymismatkoja vastaavia kitkakertoimia eikä reaktioaikoja.

Mitoitus- nopeus (km/h)	Mitoituspysähtymismatkan ja -näkemän pituus (m)											
	Normi- ehdo- tus	VTO	Ruotsi	Norja		Tanska	Länsi- Saksa	Englanti	Sveitsi		Policy	Vägplan
				A ja B lk tie	C ja D lk tie				maan- tie	mootto- ritie		
40	40	45	46		32		26		30	40	50	40
50	55	60	61	61	45	40	39		42	55	64	
60	75	75	73	80	64	70	56	81	59	75	79	70
70	95	90	85	100	82		76		80	100	92	
80	120	110	97	125	105	85	100	128	100	125	106	110
90	150	130	109	150	127		128		127	155	130	
100	180	150	120	180	157	120	158	223	155	190	153	170
110	215	180	141	215	185		195		187	225	178	
120	250	210	163	255	223	210	235	355	210	260	200	250
130	295								295		232	
140	355								335			

Taulukko 1

Mitoituspysähtymismatka ja -näkemä

2. Kohtaamisnäkemä (Taulukko 2)

Mitoituskohtaamisnäkemän pituuksissa olevat erot eri ohjeiden välillä johtuvat samoista syistä kuin erot mitoituspysähtymisnäkemän pituuksissa, sillä mitoituskohtaamisnäkemä on noin kaksinkertainen mitoituspysähtymisnäkemään verrattuna. Ruotsin ja Norjan normeissa kohtaamisnäke-

mä mitataan silmäpisteestä autoon, kun Suomen ja Tanskan ohjeissa se on määritelty mitattavaksi silmäpisteestä silmäpisteeseen. On huomattava, ettei kohtaamisnäkemää määritellä useimmissa ulkomaisissa ohjeissa laisinkaan.

Eri maissa oletetun silmäpisteen korkeuden suhteen on vertailu tehty perusselvitysten kohdassa A.4.

Mitoitus- nopeus (km/h)	Mitoituskohtaamisnäkemän pituus (m)					
	Normi- ehdotus	VTO	Ruotsi	Norja		Tanska
				tiet, joilla ei yksit.tien liittymiä	muut tiet	
40	80	90	96			
50	110	120	127		100	80
60	150	150	152	170	140	140
70	190	180	177	210	170	
80	240	220	202	250	220	170
90	300	260	227	310	270	
100	360	300	250	370	320	240
110	430	360	293	440		
120	500	420	338	510		
130	590					
140	710					

Taulukko 2

Mitoituskohtaamisnäkemä

3. Ohitusnäkemä (Taulukko 3)

Ohitusnäkemän eri ohjeissa annetut mitoitusarvot poikkeavat toisistaan suuresti. Erot johtuvat ohitusnäkemän määritelmän erilaisuudesta, kuten esim. Ruotsin normeissa on erikseen täydellinen ja rajoitettu ohitusnäkemä ja Norjan normeissa on ohitusnäkemälle annettu eri pituudet sen mukaan, onko ohittavia ajoneuvoja peräkkäin yksi, kaksi vai kolme.

Perusselvitysten kohdassa A.4 ja perusteluiden kohdassa 2.22 ilmenee, ettei mitoitusohitusnäkemän tarkka määrittäminen ole mahdollista eikä se ole yleensä tarpeenkaan, koska mitoitusohitusnäkemää ei ole tarkoituksenmukaista käyttää suunnittelussa muuhun kuin ohitusmahdollisuuksien arvosteluun. Näin ollen mitoitusohitusnäkemän metrimääräisillä eroilla ei ole oleellista merkitystä suunnittelun kannalta.

Mitoitusnopeus (km/h)	Mitoitusohitusnäkemän pituus (m)								
	Normiehdotus	VTO	Ruotsi	Norja	Tanska	Länsi-Saksa	Englanti	Vägplan	Policy
40		150	150						280
50	400	210	210	200					350
60	450	290	290	250		350	272		420
70	500	380	380	300					490
80	550	490	490	350	280	450	365		550
90	600	620	620	400					600
100	650	760	760		640	600	450		670
110	700	950	950						740
120	750	1150	1150						800
130									
140									

Taulukko 3

Mitoitusohitusnäkemä

4. Liittymisnäkemä (Taulukko 4)

Normiehdotuksen mitoitusliittymisnäkemä on yleensä pitempi kuin muut esitetyt liittymisnäkemät. Tällä erolla ei kuitenkaan sinänsä ole oleellista merkitystä, vaan liittymisnäkemän vaikutuksen tien muotoon ja kustannuksiin ratkaisevat yhdessä liittymisnäkemän pituus, se etäisyys, jotta liittymisnäkemä mitataan sekä kohteen olevan esteen korkeus. Verrattaessa normiluonnoksen arvoja esim. vto:iin voidaan em. näkö-

kohtien kannalta todeta, että liittymisnäkemän mitoitusarvo on pidentynyt, mittaamisetäisyys on pysynyt samana sekä poikkeuksellisten arvojen osalta pienentynyt ja esteen korkeutena on normiehdotuksen mukaan mahdollisuus käyttää myös toista ajoneuvoa. Näiden muutoksien yhteisvaikutuksena tulevat näkemäalueet kasvamaan pituudeltaan, pinta-alaltaan pysymään todennäköisesti nykyisellään ja kuperat pyöristyskaaret tulevat liittymien kohdalla hiukan suurenemaan.

Mitoitusnopeus (km/h)	Mitoitusliittymisnäkemän pituus (m)						
	Normiehdotus		VTO	Ruotsi	Länsi-Saksa		Englanti
	norm.	poikk.			näkemä 3 m etäisyydeltä	näkemä 20 m etäisyydeltä	
40	140	80	60	96	110	65	
50	170	110	80	127	135	85	130
60	200	140	100	152	160	115	148
70	240	170	120	177	185	145	165
80	280	200	150	202	210	180	183
90	320	240	190	227	235	220	200
100	370	280	240	250	260	260	214
110			300	293			214
120			360	338			

Taulukko 4

Mitoitusliittymisnäkemä

5. Ympyräkaaren säteen vähimmäisarvot
(Taulukko 5)

Normiehdotuksessa esitetty kaarresäteen vähimmäisarvo on vertailukelpoinen lähinnä muiden annettujen poikkeuksellisten vähimmäisarvojen kanssa.

Verrattaessa eri maiden normeja keskenään voidaan vähimmäisarvojen vastaavan suuruusluokaltaan toisiaan, joskin on huomattava Ruotsin normien suhteellisen pienet poikkeukselliset vähimmäisarvot.

Normiehdotuksen kaarresäteen vähimmäisarvot suhtautuvat muihin esitettyihin arvoihin siten, että aivan pienillä mitoitusnopeuksilla se on yleensä pienempi ja suurilla mitoitusnopeuksilla suurempi kuin muut esitetyt arvot. Koska

kaikissa ohjeissa kaarresäteen vähimmäisarvo on laskettu samoin ajodynaamisin perustein, johtuvat vähimmäisarvojen erot sallittujen sivukitkakerrotoimien ja sivukaltevuuksien enimmäisarvojen erilaisuuksista. Sivukitkakerrointa vertaillaan perusselvitysten kohdassa A.5 ja sivukaltevuuden enimmäisarvoja kohdassa A.7.

On huomattava, ettei kaarresäteen vähimmäisarvolla ole yleensä erityisen suurta vaikutusta kustannusnäkökohtiin, koska ko. kaarresäteen arvoja käytetään suhteellisen harvoin. Kustannusten muodostumisen kannalta on sitä vastoin tärkeää niiden kaarresäteiden suuruus, joita tielinjalla yleensä käytetään. Näiksi arvoiksi on normiehdotuksessa annettu ohjearyvot, jotka ovat suhteellisen pieniä ohitusnäkemän muodostumiseen liittyvien näkökohtien vuoksi.

Mitoitusnopeus (km/h)	Ympyräkaaren säteen vähimmäisarvot (m)											
	Normiehdotus	VTO		Ruotsi		Norja	Länsi-Saksa		Englanti		Sveitsi	Vägplan
		norm.	poikk.	norm.	poikk.		norm.	poikk.	norm.	poikk.		
40	60	130	100	100	50	60	90	70			50	
50	110	200	150	150	75	100	150	120	120		80	
60	170	300	200	200	100	150	250	200	230	140	120	190
70	250	400	250	250	150	200			340	180	170	
80	350	500	350	300	200	300	500	400	450	230	240	340
90	500	650	450	400	250	400			570	300	325	
100	650	800	550	500	300	500	800	600	700	370	425	580
110	850	950	650	600	350	600			830	450	550	
120	1100	1100	750	700	400	700			970	540	700	760
130	1400											
140	1700											

Taulukko 5

Ympyräkaaren säteen vähimmäisarvot

6. Kuperan pyöristyskaaren vähimmäisarvot
(Taulukko 6)

Normiehdotuksessa esitetyt vähimmäisarvot ovat vertailukelpoisia muiden poikkeuksellisten vähimmäisarvojen kanssa.

Kaikki vähimmäisarvot on määrätty samoin perustein eli pysähtymisnäkemän ja kohtaamisnäkemän perusteella, joten erot johtuvat silmäpisteen ja esteen korkeuden sekä mitoituspysähtymismatkan pituuden erilaisuuksista (Ks. pysähtymis-

ja kohtaamisnäkemän vertailua).

Samoin kuin tielinjan niin myös tasausviivan elementtien vähimmäisarvoista on todettava, että kustannusten muodostumiseen vaikuttaa vähimmäisarvojen ohella se, mitä suuruusluokkaa olevia elementtejä yleensä käytetään. Normiehdotuksessa on kuperalle pyöristyskaarelle annettu suhteellisen pienet ohjearyvot, sillä ne ovat ohituskelpoisten olosuhteiden muodostamisen kannalta edullisia.

Mitoitus- nopeus (km/h)	Kuperan pyöristyskaaren vähimmäisarvot (m)										
	Normi- ehdo- tus	VTO		Ruotsi		Norja		Tanska		Länsi- Saksa	Vägplan
		norm.	poikk.	norm.	poikk.	tiet, joil- la ei ole yksit.tien liittymiä	muut tiet	norm.	tiet, joilla on kes- kikaista		
40	400	850	300	1100	500					1500	
50	800	1400	900	2000	1000					2000	
60	1500	2300	1400	2500	1250	3000	1600	2000		3000	2000
70	2400	3300	2000	3000	1500						
80	3900	4900	3000	4000	2000	6600	4000	3500	2000	5000	5000
90	6000	6900	4200	5000	2500						
100	9000	9500	5800	6000	3000	14300	8200	6000	4000	9000	12000
110	12500	13000	7800	8000	4500						
120	17000	17500	10500	11000	5500	26500	16500		10000		26000
130	23000										
140	35000										

Taulukko 6

Kuperan pyöristyskaaren vähimmäisarvot

7. Koveran pyöristyskaaren vähimmäisarvot
(Taulukko 7)

Koveran pyöristyskaaren vähimmäisarvo-
jen eroilla ei ole mitään oleellista merkitystä.

Ko. erot eri ohjeiden välillä ovat muodostuneet
mitoituspysähtymismatkan ja valonheittäjien kor-
keuden erilaisuuksista, joita on käsitelty perus-
selvitysten kohdassa A.4.

Mitoitus- nopeus (km/h)	Koveran pyöristyskaaren vähimmäisarvot (m)						
	Normi- ehdotus	VTO	Ruotsi	Norja	Tanska		Länsi- Saksa
					norm.	tiet, joil- la on kes- kikaista	
40	600	800	500				1000
50	1000	1100	1000				1500
60	1500	1500	1250	1100	1000		2000
70	2100	2000	1500				
80	2800	2500	2000	2150	1750	1000	3000
90	3500	3000	2500				
100	4300	3600	3000	3500	3000	2000	5000
110	5200	4200	4500				
120	6300	5000	5500	5400		5000	
130	7600						
140	9200						

Taulukko 7

Koveran pyöristyskaaren vähimmäisarvot

8. NORMIEHDOTUKSEN JA KANSAINVÄLISTEN PÄÄLIIKENNEVÄYLIEN RAKENTAMISTA KOSKEVIEN OHJEIDEN VERTAILU

Sivukaltevuus

Kansainvälisten ohjeiden (Kv-ohjeet) mukaan on sivukaltevuuden enimmäisarvo suoralla tien osalla 3 % ja kaarteissa 8 %. Normiehdotuksessa on sora- ja öljysorapäälysteisille teille esitetty suoralle tien osalle sivukaltevuutta 5 % ja 4 %.

Normiehdotuksessa oleva ristiriita kansainvälisten ohjeiden kanssa johtuu siitä, että Kv-ohjeiden kaltevuusarvo tarkoittanee lähinnä kestopäälysteisiä teitä ja Suomessa on liikennemäärältään niin vähämerkityksellisiä kansainvälisiä teitä, ettei niiden kestopäälystämisen ole tarkoituksenmukaista. Lisäksi on otettava huomioon, että liikennemäärien lisääntyessä riittävästi muutetaan sora- ja öljysoratie kestopäälysteiseksi, joten kysymyksessä on tavallaan vaiheittainrakentaminen.

Pituuskaltevuus

Kansainvälisissä ohjeissa on pituuskaltevuudelle annettu taulukossa 8 esitetyt enimmäisarvot.

Ohjenopeus		120	100	80	60
Pituuskaltevuus (%:ssa, jota ei tulisi ylittää)		4	5	6	8
Kuperien taitteiden vähimmäispyörityssäteet (m)	Yksisuuntainen ajorata	8000	4000	2000	
	Kaksisuuntainen ajorata		6000	2500	1000
Kaarresäteet (m)		500	300	200	100

Taulukko 8

Kansainvälisten teiden geometriset pääominaisuudet

Normiehdotuksessa on päätien pituuskaltevuuden enimmäisarvo 6 %, joten olettamalla kansainvälisen tien olevan päätie, täyttää normiehdotus kansainväliset pituuskaltevuudelle esitetyt vaatimukset.

Kuperat pyörityssäteet

Kansainvälisissä ohjeissa kuperan pyörityssäteiden vähimmäisarvot on esitetty taulukossa 8. Normiehdotuksen vähimmäisarvot samoilla mitoitusnopeuksilla (ohjenopeuksilla) ovat 17000, 9000, 3900 ja 1500 m, joten normiehdotuksen arvot täyttävät kansainväliset vähimmäisvaatimukset.

Koverat pyörityssäteet

Kansainvälisten ohjeiden mukaan ei ohjenopeudella ajavaan ajoneuvoon saa koveran pyörityskaaren matkalla vaikuttaa suurempi pystysuuntainen kiihtyvyys kuin $0,50 \text{ m/s}^2$. Ko. kiihtyvyyden perusteella saadaan koveralle pyörityssäteelle taulukossa 9 esitetyt vähimmäisarvot. Samassa taulukossa olevista normiehdotuksen vähimmäisarvoista voidaan todeta niiden täyttävän kansainväliset vaatimukset.

Mitoitusnopeus (ohjenopeus) (km/h)	Koveran pyörityssäteiden vähimmäisarvot (m)	
	Kv-ohjeet	Normiehdotus
60	550	1500
80	990	2800
100	1540	4300
120	2190	6300

Taulukko 9

Koveran pyörityssäteiden vähimmäisarvot

Kaarresäteet

Kansainvälisten ohjeiden mukaiset kaarresäteiden vähimmäisarvot on esitetty taulukossa 8. Mitoitusnopeuksia (ohjenopeuksia) 120, 100, 80 ja 60 km/h vastaavat kaarresäteiden vähimmäisarvot ovat normiehdotuksessa 1100, 650, 350 ja 170 m, joten normiluonnoksen arvojen voidaan todeta täyttävän kansainväliset vaatimukset.